

**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**  
**ESCUELA DE POSGRADO**  
**MAESTRÍA EN INGENIERÍA VIAL CON MENCIÓN**  
**EN CARRETERAS, PUENTES Y TÚNELES**



**TESIS**

Para optar el Grado Académico de Maestro en Ingeniería Vial con  
mención en Carreteras, Puentes y Túneles

**Regularidad Superficial del Camino Departamental CU-112**  
**determinado por imágenes captadas con VANTs**

Autor: Bach. Olivera Quispe Wilson Claudio

Asesor: Mg. Aramayo Pinazo Francisco Alejandro

**LIMA – PERÚ**

**2021**

## PAGINA DEL JURADO

---

firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Lima enero del 2021

## **Dedicatoria:**

A mi Madre, Leonarda Quispe Galiano por inculcarme disciplina, respeto y fe en Dios.

A mi Esposa, Nancy Huamán Tinta por su apoyo incondicional en cada momento.

A mi hija e hijo, Danna y Dean por ser la bendición que Dios me dio y la alegría de todos los días.

A mi Hermano, Charle Olivera Quispe por ser mi soporte emocional y ejemplo de superación.

A mi Padre, Claudio Olivera Aucca mi mejor amigo.

## **Agradecimiento:**

A Dios por darme una vida de mucha bendición en todas las áreas de mi vida.

A todo el equipo técnico que me acompañó para realizar el trabajo de investigación en campo encabezado por mi hermano Jhonatan Olivera.

Al Ingeniero Lorgio Estrada Huerta por su apoyo y asesoramiento para lograr este objetivo.

A todos los docentes de la Maestría que me nutrieron de conocimiento en las clases impartidas y de manera especial al ingeniero Francisco Aramayo Pinazo, por haberme guiado en el desarrollo técnico de la presente tesis.

## RESUMEN

**Objetivo general.** Determinar en qué medida impacta el uso de vehículos aéreos no tripulados en la eficiencia para determinar la regularidad superficial del camino departamental CU-112, en comparación con los sistemas tradicional RTRRMS.

**Importancia de la Investigación.** Un buen método de determinación de Regularidad superficial de los pavimentos ayuda en la planificación de programas de mantenimiento de redes viales, programas que tienen por finalidad, reducir costos y tiempos de transporte de los usuarios finales; por lo que es importante buscar nuevos métodos que ofrezcan mayor precisión, pero con ahorro de tiempos y costos, tal como se ha pretendido con la presente investigación.

**Metodología aplicada.** La presente investigación se ha tipificado como una a nivel descriptivo, con diseño no experimental, utilizando el método de muestreo dirigido para determinar un tramo de la carretera como muestra; como unidad de análisis se ha tomado toda irregularidad o desnivel del pavimento a lo largo de todo el tramo de estudio; se ha recolectado datos de campo utilizando fichas de recolección de datos y finalmente, como prueba estadística se ha usado la comparación de datos.

**Resultados obtenidos.** Se ha determinado la medida en que impacta el uso de vehículos no tripulados en los costos, en el tiempo de demora y en el nivel de precisión cuando se determina el índice de regularidad superficial en comparación con los sistemas tradicionales RTRRMS. Para la determinación de los costos se ha tomado como unidad de comparación el costo por km de carril resultando que para los Vehículos no tripulados es de S/ 404.93 y para el método tradicional es de S/ 640. 89. Para la determinación del tiempo se ha tomado en cuenta el tiempo de viaje, de trabajo de campo y el procesamiento de datos demorando en ambos casos 5 días. Para el nivel de precisión se ha tomado en cuenta la resolución de las cámaras en cada caso siendo que para el caso de los vehículos no tripulados es de aproximación al cm mientras que en caso de métodos tradicionales la aproximación es al mm. Dado que estos son los datos de comparación entre ambos métodos, no se ha podido establecer la eficiencia en favor de alguno de ellos.

## ABSTRACT

**Overall objective.** To determine to what extent the use of unmanned aerial vehicles impacts on the efficiency to determine the surface regularity of the departmental road CU-112, compared to traditional RTRRMS systems.

**Importance of Research.** A good method of determining the surface regularity of pavements helps in planning maintenance programs for road networks, programs that aim to reduce costs and transport times for end users; For this reason, it is important to look for new methods that offer greater precision, but with time and cost savings, as has been intended with this research.

**Applied methodology.** The present investigation has been typified as a descriptive level, with non-experimental design, using the directed sampling method to determine a section of the road as a sample; Any irregularity or unevenness of the pavement throughout the entire stretch of study has been taken as the unit of analysis; Field data has been collected using data collection sheets and finally, data comparison has been used as a statistical test.

**Results obtained.** The extent to which the use of unmanned vehicles impacts costs, delay time and the level of precision when determining the surface regularity index compared to traditional RTRRMS systems has been determined. To determine the costs, the cost per lane km has been taken as a comparison unit, resulting in S / 404.93 for Unmanned Vehicles and S / 640 for the traditional method. 89. For the determination of time, It has taken into account travel time, field work and data processing, in both cases taking 5 days. For the level of precision, the resolution of the cameras has been taken into account in each case, being that in the case of unmanned vehicles it is approximation to cm while in case of traditional methods the approximation is to mm. Given that these are the comparison data between both methods, it has not been possible to establish the efficiency in favor of either of them.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....</b>	<b>1</b>
1.1. Descripción del problema. ....	1
1.2 Delimitación del problema .....	8
1.5. Objetivos de la Investigación.....	8
<b>2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>10</b>
2.1. Marco Histórico. ....	10
2.2. Investigaciones Relacionadas con el Tema.....	12
2.3 Estructura teórica y científica que sustenta el estudio (teorías, modelos) .....	16
2.4. Definición de términos básicos.....	29
2.5. Hipótesis .....	31
2.6. Variables .....	31
<b>3. MARCO METODOLÓGICO .....</b>	<b>34</b>
3.1. Tipo y Método De Investigación .....	34
3.2. Población y Muestra. ....	35
3.3. Técnicas e Instrumentos De Recolección De Datos .....	35
3.4. Descripción de Procesamiento y Análisis De Datos.....	37
<b>4. . RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS.....</b>	<b>38</b>
4.1 Resultados.....	38
4.2. análisis de resultados.....	51
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>68</b>
Conclusiones.....	68
Recomendaciones .....	68
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>70</b>

## INDICE DE TABLAS

TABLA 1 :	7
TABLA 2:	25
TABLA 3 :	28
TABLA 4:	36
TABLA 5:	37
TABLA 6:	38
TABLA 7:	42
TABLA 8:	51
TABLA 9:	52
TABLA 10:	53
TABLA 11:	54
TABLA 12:	55
TABLA 13:	58
TABLA 14:	60
TABLA 15:	61
TABLA 16:	63
TABLA 17:	68



## INDICE DE FIGURAS

<i>FIGURA 1:</i> VALORES DE REGULARIDAD SUPERFICIAL PARA DIFERENTES TIPOS DE CARRETERA	7
<i>FIGURA 2:</i> MEDICIÓN FÍSICA DE UN PERFIL LONGITUDINAL SIMPLE	19
<i>FIGURA 3:</i> INDICADOR DEL IRI POR EL BANCO MUNDIAL (IRRE,1982)	21
<i>FIGURA 4:</i> INCLINÓMETROS PARA EVALUACIÓN FUNCIONAL DE PAVIMENTOS	23
<i>FIGURA 5 :</i> EQUIPO TOPOGRÁFICO / VARILLA(MIRA) Y NIVEL	23
<i>FIGURA 6:</i> CLASIFICACIÓN DE EQUIPOS ACTUALIZADOS / BANCO MUNDIAL	26
<i>FIGURA 7:</i> VANT EQUIPADO CON CÁMARA (SENSOR)	27
<i>FIGURA 8:</i> COMPONENTES DEL EQUIPO	39
<i>FIGURA 9:</i> RECONOCIMIENTO DE TRAMO A SOBREVOLAR /VANT	40
<i>FIGURA 10:</i> MARCAS DE FOTO CONTROL	41
<i>FIGURA 11::</i> EQUIPOS Y ACCESORIOS PARA INICIAR EL VUELO / VERIFICACIÓN DEL EQUIPO	42
<i>FIGURA 12:</i> CONFIGURACIÓN DEL SOFTWARE PARA EL INICIO DEL PLAN DE VUELO	44
<i>FIGURA 13:</i> IMPORTACIÓN DE IMÁGENES Y COORDENADAS DE LOS HITOS GEORREFERENCIADOS	45
<i>FIGURA 14:</i> IMÁGENES REPRESENTATIVAS DE LA ORIENTACIÓN INTERNA	45
<i>FIGURA 15:</i> IMÁGENES REPRESENTATIVAS DE LA SUB FASE DE DE ORIENTACIÓN EXTERNA EN EL SOFTWARE	46
<i>FIGURA 16:</i> GENERACIÓN DEL MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN	46
<i>FIGURA 17:</i> EXPORTACIÓN DE CURVAS DE NIVEL AL SOFTWARE C3D 2020 Y PROVAL 3.61	47
<i>FIGURA 18:</i> VALORES DE IRI OBTENIDOS POR MEDIO DEL VANT.	48
<i>FIGURA 19:</i> VALORES DE IRI OBTENIDOS POR EL CONSORCIO CCECC PERU	49
<i>FIGURA 20:</i> ESQUEMA SIMPLIFICADO DEL PERFILOMETRO “CHASQUI” / CORTESIA DE HOB CONSULTORES,S.A.	56
<i>FIGURA 21:</i> PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DEL PERFILOMETRO LASER	56
<i>FIGURA 22:</i> OBTENCIÓN DEL PERFIL LONGITUDINAL / ACELERÓMETRO +LASER +DISTANCIÓMETRO	57
<i>FIGURA 23:</i> FRECUENCIA DE RECOLECCIÓN Y RESOLUCIÓN VERTICAL DE LOS EQUIPOS DE DIFERENTES CLASES	58
<i>FIGURA 24:</i> TIPOS DE VANT'S POR EL TIPO DE ALA	59
<i>FIGURA 25:</i> TIPOS DE SENSORES MAS UTILIZADOS	59
<i>FIGURA 26:</i> COMPONENTES DE UN VANT'S / ALA ROTATORIA	60
<i>FIGURA 27 :</i> OBTENCIÓN DEL GSD	62
<i>FIGURA 28:</i> COMPARACIÓN DATOS LIDAR Y NUBE DE PUNTOS	64

## INTRODUCCION

La Investigación consiste en la determinación del índice de regularidad superficial, pero utilizando como instrumento de medición un vehículo no tripulado provisto de su respectiva cámara y comparar estas mediciones con las obtenidas por métodos tradicionales tal como el perfilómetro laser, pero comparar también costos y tiempos de tal manera que se pueda determinar cuál de las alternativas es la más eficiente. Se trata de buscar una alternativa técnica más eficiente que a su vez permita realizar programaciones de mantenimiento de carreteras en menor tiempo y menores costos. La metodología empleada es la que corresponde a una investigación descriptiva, obteniendo datos en el mismo campo tomando como muestra a toda la vía en estudio y como unidad de análisis la longitud mínima de toma de datos que en este caso será los metros analizados a lo largo de toda la vía. Los instrumentos utilizados son los VANT provistos de su respectiva cámara, que en definitiva capta imágenes de la regularidad superficial, tanto en longitud como en altura, que luego son transformados en magnitudes.

Es de esperar que con los datos obtenidos se pueda determinar la mayor eficiencia de la utilización de los VANT en comparación de los RTRRMS en términos de precisión de datos, costos y tiempo empleado.

# 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

## 1.1. Descripción del problema.

Una de las características más apreciables del crecimiento económico de los países son sus vías de comunicación, en este caso, las terrestres, que es lo relacionado con la presente investigación. El mal estado de las vías de comunicación de un determinado país, afecta a toda la población en general, indicando su bajo crecimiento económico, a manera de círculo vicioso actuando como causa y como efecto. Por el contrario, un buen estado de las vías de comunicación indica bienestar para toda esa población traducido en el menor tiempo de viaje de los usuarios, más facilidad para el intercambio y del transporte en general.

Para un buen mantenimiento de vías, es preciso un buen programa de mantenimiento basado principalmente en la determinación del estado de las vías, es decir, en la determinación de la regularidad superficial, a través del indicador denominado IRI que a su vez implica un determinado método, que signifique ahorro de tiempo y menores costos, hay autores que coinciden con esta opinión:

Mendoza, (2014) en su trabajo de investigación indica que:

actualmente las funciones de administración del mantenimiento de vías se basan en la opinión del operador técnico auxiliado de un equipo especializado determinando cual es el nivel de calidad que presta la red de carreteras, éstos detectan cuáles deberían ser las estrategias de conservación para alcanzar los niveles de calidad del servicio óptimo que a su juicio debería tener las carreteras. Habría que preguntarse entonces ¿la calidad del servicio es entendida de igual manera tanto por el operador como por el usuario?, definitivamente no, porque los usuarios tienen otro enfoque, simplemente tienen en cuenta sus necesidades y de cómo éstas son satisfechas por el servicio prestado. (Pág.14).

En coincidencia con Mendoza se insiste en que un buen programa es el inicio de un buen mantenimiento lo que implica a su vez un método eficiente de la determinar la regularidad Superficial; por lo que se propone el uso de Drones(VANTs) en esta determinación, insistiendo en que un buen programa de mantenimiento implica principalmente determinaciones rápidas del estado de las vías, pero que estas

determinaciones se realicen a su vez, a un bajo costo, comparado con los métodos tradicionales.

Uno de los aspectos más importantes es lo referente a los costos que implican para un país el mal estado de sus vías, por una parte, este costo se manifiesta en el mayor tiempo de viaje y de transporte traduciéndose en una pérdida de tiempo de los usuarios, y deterioro en algunos casos de productos perecibles. Pero el indicador que de mejor manera refleja estos costos es lo referente a los costos de operación vehicular (COV). Es decir, vehículos que circulan por vías en mal estado incurren en mayores costos, por desgaste de ellos, y mayores costos en combustibles y lubricantes.

Por lo afirmado en el párrafo anterior se puede explicar la importancia de la conservación de las carreteras. A este respecto, y en coincidencia de lo explicado respecto a la importancia del mantenimiento de vías, Rojas. (2018) opina que “la disponibilidad de carreteras en óptimas condiciones para el transporte constituye un factor esencial, tanto para el logro de competitividad y capacidad de exportación, así como para la promoción del desarrollo local y la dotación de mejores niveles de calidad de vida” (p.13).

En el Perú, el problema es se manifiesta de manera constante, y en algunos casos hasta el grado de desastres, es suficiente considerar perjuicios que causan las interrupciones de las carreteras sobre todo en la estación de verano a consecuencia de las lluvias, pero a esto contribuye también la falta de mantenimiento de estas vías que a manera de prevención se debería de realizar y es de mencionar también, aunque no es parte del presente estudio, la disponibilidad de recursos para ese mantenimiento.

No existe una cuantificación económica de los costos que en que incurre un país como el nuestro debido al poco o nulo mantenimiento de las vías, pero las evaluaciones sociales que de manera aislada se ha determinado en cada uno de las proyectos bajo las normas del SNIP (Sistema Nacional de Inversión pública), indican que estos son sumamente rentables cuando se medidos bajo el criterio del VAN (Valor Actual Neto), pero siempre y cuando el supuesto de un buen mantenimiento se cumpla tal y como lo plantean los respectivos estudios.

## **1.2. Formulación del problema.**

Ineficiencia en determinar la Regularidad Superficial de caminos departamentales con superficie afirmada o no pavimentada que coadyuva en un mal mantenimiento de las vías.

### **1.2.1. Problema General:**

¿Cómo impacta el uso de VANTs en la eficiencia para determinar la regularidad Superficial del Camino Departamental CU-112, en comparación con los sistemas tradicionales RTRRMS?

### **1.2.2. Problemas específicos**

- 1) ¿Cómo impacta el uso de vehículos aéreos no tripulados en el nivel de precisión para determinar la regularidad superficial del camino departamental CU-112, en comparación con los sistemas tradicionales RTRRMS?
- 2) ¿Cómo impacta el uso de vehículos aéreos no tripulados en el tiempo de demora para determinar la regularidad superficial del camino departamental CU-112, en comparación con los sistemas tradicionales RTRRMS?
- 3) ¿Cómo impacta el uso de vehículos aéreos no tripulados en los costos para determinar la regularidad superficial del camino departamental CU-112, en comparación con los sistemas tradicionales RTRRMS?

## **1.3. Importancia y Justificación del Estudio (aporte, contribución)**

### **1.3.1. Importancia del estudio**

Un buen método para la determinación de Regularidad superficial de los pavimentos ayuda con la evaluación técnica y económica en la planificación de programas de mantenimiento de redes viales o proyectos que beneficia a la toda la población reduciendo sus costos y tiempos de transporte de los usuarios finales.

Reducir costos y tiempos en el transporte implica ahorros, y por lo tanto aumento en el bienestar de la población; que es uno de los fines principales

a nivel nacional; y en esto coinciden todos los autores. Trabajos realizados en la búsqueda de nuevos métodos para determinar la regularidad superficial con indicadores de alta precisión de bajo costo y alto rendimiento, justifican la aplicación de nuevos métodos que buscan mayor eficiencia, de acuerdo a esto Sánchez y Martínez. (2018) opinan:

El Índice de Regularidad Internacional (IRI) es un indicador fundamental en la auscultación funcional que se realiza como parte de la conservación de carreteras, ya que este valora la calidad y comodidad de los pavimentos, tanto nuevos como viejos, a partir de la determinación de su regularidad superficial. Para lograr este valor internacional de regularidad se utilizan disímiles equipos y procedimientos, los cuales se clasifican en clases en dependencia de su precisión. En nuestro país, el método utilizado tradicionalmente para la obtención de la regularidad Superficial son los sistemas tipo RTRRMS, por la calidad de los resultados que ofrece y el rendimiento en la obtención de la regularidad Superficial a través del indicador IRI. En el presente trabajo se evalúa como alternativa, la aplicación de un procedimiento para determinar la regularidad Superficial de un camino departamental partir de un perfil longitudinal, obtenido por métodos fotogramétricos. (pág. 1).

Los mismos, coinciden en que pueden darse sistemas alternativos a los conocidos RTRRMS, con mejores resultados.

Los resultados positivos de la presente investigación, permitirán realizar las determinaciones sobre todo en carreteras departamentales en vías de longitudes de muchos km e incluso en las vías afirmadas.

La utilidad general de los resultados de la investigación será el ahorro de costos de operación vehicular y el ahorro también del tiempo de viaje de los usuarios de la vía.

Sabiendo que el uso de VANTs en la determinación de la regularidad superficial todavía no está muy difundido, ni tampoco el método

totalmente perfeccionado, la información servirá de antecedente a las futuras investigaciones en este campo.

En resumen, se está desarrollando la presente investigación, porque no se conoce a ciencia cierta si es eficiente el uso de VANTs en la determinación de la regularidad superficial y los resultados positivos contribuirán a mejorar para tomar decisiones en gestión de pavimentos y futuras intervenciones que se realiza luego de un análisis técnico-económico para el tipo de mantenimiento a realizar y para ello es importante obtener el indicador estadístico de la regularidad superficial conocido como Índice de Regularidad Internacional (IRI) de nuestras vías teniendo en cuenta que es una preocupación constante de usuarios y profesionales en ingeniería vial, el deterioro prematuro de nuestras carreteras.

Los gobiernos tanto Nacionales , regionales y locales inauguran muchas vías de comunicación pero no tienen la capacidad de ofrecer el mismo servicio luego de la recepción del bien y en el transcurso de los años, por el desconocimiento de una gestión de infraestructura vial , específicamente desconociendo el nivel de serviciabilidad de las vías y de las cuales uno de los parámetros importantes es la regularidad superficial para saber el estado de las vías motivo por el cual la presente investigación pretende determinar la Regularidad Superficial utilizando VANTs como una alternativa de medición a los conocidos sistemas de medición RTRRMS

### **1.3.2. Justificación del Estudio**

#### **✓ Justificación Teórica**

Es una contribución al conocimiento con la incorporación de un nuevo método para determinación de la regularidad superficial en pavimentos

#### **✓ Justificación Metodológica.**

La regularidad superficial en pavimentos, es un parámetro que permite determinar la serviciabilidad de las vías con un indicador concreto y medible denominado IRI que se define como el valor del movimiento vertical acumulado a lo largo de una distancia dada,

pero en el presente caso se tiene un campo visual más amplio al enfocar imágenes desde una posición más alta. ( de arriba hacia abajo)

✓ **Justificación Práctica.**

La determinación de la regularidad superficial en pavimentos se realiza en trabajos de campo utilizando diferentes equipos, con el tradicional de Sistema de medición de regularidad superficial de respuesta (RTRRMS) que consisten en un vehículo de pasajeros o un remolque remolcado que tiene uno o dos ruedas, más un medidor de ruta instalado para medir la suspensión desviaciones. Los cuales deben ser previamente adecuados o modificados y calibrados para dicho trabajo, en el presente caso se propone un método más rápido por lo que la presente investigación servirá de referencia para realizar otros trabajos con mayor rendimiento y menos costoso.

✓ **Justificación Económica**

Ya se explicó que la implementación del método conlleva a ahorros para los usuarios y para el país en general por el menor costo de operación vehicular.

✓ **Justificación Social.**

Dado que las vías de comunicación constituyen servicios públicos, su mejoramiento y conservación implica costos y beneficios sociales, porque al mejorar la programación se reduce los accidentes de carreteras, se le da mayor fluidez al tránsito y finalmente se eleva el nivel de vida de la población en su conjunto.

✓ **Justificación Legal**

En general, la construcción y mantenimiento de vías obedece a una normativa sectorial precisada en el Manual de Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013) del Ministerio de



Transportes y comunicaciones como se detalla en la tabla 01 y en la figura 01.

Tabla 1 :

Regularidad Superficial de Pavimentos de acuerdo al Tipo de Superficie

Tipo de Superficie	IRI (m/km)
Afirmados	$\leq 5$
Suelos estabilizados	$\leq 6$
Tratamientos Superficiales	$\leq 2.5 / @100m$ en ambas huellas
Pavimentos Asfálticos	$\leq 2.0 / @100m$ en ambas huellas

Fuente: manual de carreteras / especificaciones técnicas generales para construcción (EG-2013)

Tipo de Carretera	Rugosidad Característica Inicial Pavimento Nuevo IRI (m/km)	Rugosidad Característica Inicial Pavimento Reforzado IRI (m/km)	Rugosidad Característica Durante Periodo de Servicio IRI (m/km)	Observación
Autopistas: IMDA > 6000 veh./día, de calzadas separadas, c/u con 2 o + carriles.	2.00	2.50	3.50	Rugosidad característica, para una confiabilidad de 98%
Carreteras Duales o Multicarril: IMDA entre 6000 y 4001 veh./día, de calzadas separadas, c/u con 2 o + carriles.	2.00	2.50	3.50	Rugosidad característica, para una confiabilidad de 95%
Carreteras de Primera Clase: IMDA entre 4000 y 2001 veh./día, de una calzada de 2 carriles.	2.50	3.00	4.00	Rugosidad característica, para una confiabilidad de 95%
Carreteras de Segunda Clase: IMDA entre 2000 y 401 veh./día, de una calzada de 2 carriles.	2.50	3.00	4.00	Rugosidad característica, para una confiabilidad de 90%
Carreteras de Tercera Clase: IMDA entre 400 y 201 veh./día, de una calzada de 2 carriles.	3.00	3.50	4.50	Rugosidad característica, para una confiabilidad de 90%
Carreteras de Bajo Volumen de Tránsito: IMDA $\leq$ 200 veh./día, de una calzada.	3.00	3.50	4.50	Rugosidad característica, para una confiabilidad de 85%

Figura 1: Valores de regularidad superficial para diferentes tipos de carretera

Fuente 1: manual de carreteras / especificaciones técnicas generales para construcción (EG-2013)

✓ **Justificación Ecológica.**

La implementación y operación de un proyecto vial, implica consecuencias ecológicas positivas y negativas. Las carreteras en general, pero en presente caso no se afecta de modo alguno la ecología ya que se usa una tecnología limpia.

**1.4. Delimitación del problema**

**1.4.1. Delimitación espacial**

El proyecto se ha desarrollado en el departamento del Cusco, en la Vía Departamental CU-112: Pisac – Paucartambo, que viene a ser uno de los tres caminos departamentales del Corredor Vial Alimentador (CVA): CUSCO-MADRE DE DIOS que actualmente se viene siendo ejecutado por el CONSORCIO CCECC PERU por encargo de Provias Descentralizado, el tramo con tipo de superficie no pavimentada y el tramo de estudio se encuentra comprendido del km 68+400+000 al km 73+800

**1.4.2. Delimitación temporal**

El estudio comprenderá un espacio de 6 meses durante los cuales se desarrollará principalmente, el fundamento teórico, diseño del experimento (ambos trabajos se desarrollarán en gabinete), trabajo de campo para la experimentación y recolección de datos, análisis de estos datos para determinar los resultados y conclusiones.

**1.4.3. Delimitación Teórica**

Comprende principalmente:

El planteamiento del diseño estadístico para el experimento, y las pruebas de hipótesis si fuera el caso.

Se describirá las actividades prácticas en cuanto a equipos y adecuación de los mismos.

Finalmente se definirá el programa informático a utilizar para el procesamiento de datos.

**1.5. Objetivos de la Investigación**

### **1.5.1. Objetivo General:**

Determinar en qué medida impacta el uso de vehículos aéreos no tripulados en la eficiencia para la determinar la regularidad superficial del camino departamental CU-112, en comparación con los sistemas tradicional RTRRMS.

### **1.5.2. Objetivos específicos**

- 1) Determinar en qué medida impacta el uso de vehículos aéreos no tripulados en el nivel de precisión cuando se mide la regularidad superficial del camino departamental CU-112, en comparación con los sistemas tradicionales RTRRMS
  
- 2) Determinar en qué medida impacta el uso de vehículos aéreos no tripulados en el tiempo de demora cuando se mide la regularidad superficial del camino departamental CU-112, en comparación con los sistemas tradicionales RTRRMS
  
- 3) Determinar en qué medida impacta el uso de vehículos aéreos no tripulados en los costos cuando se mide la regularidad superficial del camino departamental CU-112, en comparación con los sistemas tradicionales RTRRMS

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Marco Histórico.

#### 2.1.1. Del IRI (Índice de regularidad Internacional)

Existe literatura referente al aspecto histórico del IRI, como el que se presenta a continuación y se refiere al trabajo bibliográfico de Ramírez (2017) que desarrolla una investigación, que señala a algunos autores que investigaron la historia del IRI, que abarca 4 páginas del trabajo; indica que inicialmente en Suecia, con el uso del acelómetro adherido a un vehículo y también el uso de colores para ver la calidad de carreteras; las mismas que se validaron en el 2005. En el 2010, se usaron teléfonos que incluían procesador de datos. En el 2011 se realizaron otras pruebas con celulares, pero colocando a la vez obstáculos. Luego se vio de que se podía obtener una nube de puntos. Finalmente se puede deducir que el IRI, resolvió la necesidad de unificar una medida para la regularidad superficial en carreteras, principalmente midiendo el grado de deterioro de las mismas. (p. 16-22).

En el mismo sentido Arriaga (1998), cuando se refiere a la historia del IRI, hace mención a los trabajos realizados por el Banco Mundial patrocinando programas de investigación sobre todo en países en vías de desarrollo y menciona las investigaciones concluyeron de que carreteras con poca inversión en su construcción resultaban mucho costosas para el usuario, pero además el hecho de usar diferentes métodos de medición en los diferentes países e incluso dentro del mismo país justificaban la necesidad de tener de manera universal una única medida de este deterioro. El Banco Mundial en el año 1982 estableció correlaciones hizo posible encontrar el Índice Internacional de Regularidad a manera de un índice de referencia. (p.12)

Onofre, Sánchez y Santiago (2008), en coincidencia con Ramírez, indican la dificultad de unificar los criterios de medición debido a que en los diferentes países se estaba usando diferentes sistemas de medida. Esto motivó a que el Banco Mundial con la participación de Bélgica, Francia, Inglaterra y Estados Unidos y Brasil en el año 1982 y luego de innumerables mediciones controladas a diferentes condiciones se estableció un índice único que

posteriormente en el año de 1986 fue aceptado bajo las siglas de IRI. (p. 6)

Finalmente, en referencia a lo ocurrido en el Perú, en los inicios de las mediciones del IRI, Chavarría (2019), menciona que:

En Perú, las primeras mediciones se realizaron el año 1992 empleando el perfilómetro Merlín por influencia del Banco Mundial. En el año de 1995, el Proyecto Especial de Rehabilitación de la Infraestructura de Transportes (PERT) establece los primeros valores requeridos de IRI. En el año 2000, las especificaciones técnicas generales para carreteras EG-2000 definen valores de IRI según el tipo de material en la capa de rodadura. La primera concesión vial Arequipa-Matarani incluye el IRI como índice de control de la gestión vial. Actualmente, las distintas concesiones viales emplean distintos umbrales de IRI y exigencias metodológicas. (P. 8)

### 2.1.2. De los VANTs.

**HEMAB. (2018)** Al mostrar el origen de los vehículos aéreos no tripulados puntualiza que fueron los europeos los pioneros del uso de vehículos aéreos no tripulados, dando origen luego, a los planeadores, pero inicialmente tenían la limitación de que era difícil disponer de un motor con la suficiente potencia para mantener el vehículo en el aire. Pero fueron los norteamericanos los primeros en hacer un vuelo tripulado (p.1)

Del Sabio (2019) En un artículo periodístico opina que el siglo XVIII es el del nacimiento de los drones a la par de otras modificaciones en la aviación. El bombardeo de Venecia ocurrido en 1849, durante los conflictos bélicos de esa época, dio lugar a la aparición de globos aerostáticos pudiendo luego controlar estos aparatos desde distancias grandes. Hoy día los VANTs son utilizados en una diversidad de trabajos especializados tales como exploraciones, carreteras, topografía, investigaciones atmosféricas, localización de bancos de pesca, gestión de

riesgos, control del medio ambiente, , exploración geológica minera, etc. Con la posibilidad de complementar otras tecnologías tales como cámaras fotográficas de alta calidad, sensores láser, cámaras infrarrojas, tecnología LIDAR, equipos de fumigación, etc. Debido a la autonomía y facilidad de manejo el uso de estas pequeñas aeronaves facilita a los usuarios para realizar diversas actividades (p 1-2)

**Caro y Peña (2012)** en un artículo publicado sobre índice de regularidad superficial , cuando abordan la parte histórica aluden a ingenieros suecos que desde 1997 se enfocaron en mediciones de precisión trabajando con dispositivos móviles GPS. Señalan también que en año 2001 nació la idea de determinar las causas de las bajas velocidades de los camiones debido a las condiciones de las vías, y en año 2002 se fabricó el primer piloto, utilizando además un acelerómetro externo, y una PC y un GPS. Todo esto colocado en el eje trasero de un vehículo. Finalmente, los autores mencionan que en el año 2011 realizaron ensayos, consiguiendo como consecuencia que el aparato guarde valores y realice hasta 100 vibraciones por segundo, se puede coleccionar datos sin necesidad de internet, porque la información es enviada a la nube. (P. 22-24)

En la actualidad, el desarrollo del uso de los VANTs se está generalizando a nivel mundial, al respecto, Sánchez y Valenzuela (2013), mencionan que los sistemas aéreos no tripulados en los últimos años, cada vez más han ido tomando auge en diferentes campos, constituyéndose en una seria alternativa en determinados trabajos. Mencionan también que países de Latinoamérica están intensificando su uso, sin embargo, no mencionan a Perú en este grupo.

## **2.2. Investigaciones Relacionadas con el Tema**

En esta parte se presenta algunas investigaciones realizadas por otros autores, especialmente los desarrollados a manera de tesis y otras relacionadas con este trabajo pero publicadas en revistas, se tomará en cuenta lo referente al enunciado del problema, objetivo principal, población y muestra, Instrumentos de recolección de datos y resumen de conclusiones tenemos que Ramos (2018) en la investigación

realizada en la tesis “estudio del índice de regularidad internacional en vías pavimentadas mediante el uso del perfilo metro laser ROMDAS” y propone lo siguiente:

Hipótesis general “Existe una relación directa entre la escala de IRI de los pavimentos y la confortabilidad del usuario en los mismos. (p.4).

El mismo autor menciona dos conclusiones importantes de su trabajo:

1. Se esperaba que los valores de las huellas izquierda y derecha sean relativamente similares, después de observar los resultados obtenidos en el capítulo 4, se concluye la similitud esperada en ambas huellas. Sin embargo, existen tramos con cierta diferencia. Esta diferencia es válida especialmente en tramos curvos, debido a la posible variación de la progresiva y que, en estas secciones, el recorrido de todos los vehículos tiende a ser muy variable.
2. En el tramo Serpentín Pasamayo - Sentido sur – norte, los valores de IRI media móvil obtenidos en este tramo, se encuentran por debajo del umbral de 3.5 m/km en su totalidad. Sin embargo, es importante resaltar que hay valores individuales tanto de la huella izquierda como de la huella derecha que si sobrepasan el límite de 3.5 m/km. Como se mencionó en el capítulo 2.6, los valores que rigen en los términos de referencia del contrato son los valores de media móvil. (p. 66)

Montoya (2013), en su tesis denominada “Análisis del IRI para un proyecto de carretera sinuosa concesionada en el Perú”, menciona que:

La investigación tiene como objetivo “proponer un mecanismo para la determinación de tolerancias en el control de la regularidad media deslizando establecido en el contrato de la concesión vial”.

La observación a la ecuación matemática para la determinación del IRI, es el inicio de la investigación, que refiere además que la investigación se inició en el Brasil en 1982 mediante el Banco Mundial donde participaron también investigadores de USA, y Francia; se consideró las desviaciones estándar en relación

a una superficie plana no sinuosa donde un vehículo podría correr a 80km/h . Considerando que las vías de penetración del Perú con alineamiento horizontal y vertical por lo que el modelo matemático no se adapta por completo a las carreteras peruanas que normalmente tienen excesivas curvas , lo que evidencia una influencia de la geometría de la Vía en la determinación del IRI, donde el tesista señala que debe existir una tolerancia en el umbral admisible que exige en los contratos de concesión para el control de regularidad y debiera modificarse flexibilizándose según el trazo de la vía. (p. 13-14)

Sobre el particular el tesista realiza una modelación mediante el programa HDM-4 para determinar las fechas de intervención en un mismo tramo cuya variación para efectos de la comparación fue asignar el valor IRI del pavimento para el caso 1 un valor de 2m/km y para el caso 2 un valor de 2.5m/km, asumiendo que la vía tiene características típicas de una vía nacional con trazo sinuoso , pendientes variables y velocidad de circulación promedio de 30km/h, con un ancho de calzada menor a 7m, de los valores de IRI asignados al programa para el caso 1, fue asumiendo un valor promedio del tramo evaluado sin considerar tolerancias y para el caso 2 se aplicó un factor de tolerancia que trajo como resultado un incremento del IRI hasta un 0.5m/km sobre el valor del caso 1, finalmente de la Modelación para ambos casos los resultados fueron 1 año de diferencia para la fecha de intervención , sin embargo la cantidad de intervenciones programadas para los dos casos modelados son las mismas demostrando que las inversiones totales para ambos casos sigue siendo la misma.

Finalmente concluye según lo analizado en la presente tesis, que el parámetro más influye en vías de penetración en el valor del IRI es la curva Horizontal, que en comparación con la curva vertical que tiene solamente 3 cambios. Igualmente, la cantidad de curvas horizontales que se presentan con mucho mayor frecuencia son las que menor costos y menos beneficios para los involucrados.

**Tacca** (2009), en la investigación titulada “*comparación de resultados obtenidos de un levantamiento topográfico utilizando la fotogrametría con drones (VANTs) al método tradicional*”, La investigación consiste en el uso de VANTs para comparar precisión, costos y tiempo respecto a un método tradicional. Los trabajos con VANTs se ha realizado en dos etapas, la primera con estación total mediante un prisma colocado a 1.70 m en los tramos más críticos de la carretera, y la segunda



con VANTs para todo el recorrido. Como resultado se obtuvo que el uso de VANTs es menos costoso y mas rápido , mientras el nivel de precisión es similar en ambos métodos. (p. 4)

Badilla (2010). En un artículo desarrollado sobre evaluación de pavimentos, proporciona información que puede ser utilizada tanto en el diseño como en la gestión de la infraestructura, permitiendo priorizar las actividades de mantenimiento, rehabilitaciones y reconstrucciones. Permite también realizar inventarios del estado y la condición de la red vial, así como evaluar los costos adicionales en los cuales pueden incurrir los usuarios por el uso de la carretera.

**Martínez (2018)**, en un trabajo realizado en Cuba sobre *determinación del IRI en pavimentos a partir de procedimientos fotogramétricos*, indica que una superficie con buena regularidad brinda comodidad para los usuarios de. Una mala regularidad, refleja deterioro y daños de carácter estructural y funcional de los pavimentos, los mismos que influyen negativamente la condición de la vía y vida útil del mismo. El IRI por lo tanto surgió como una necesidad de unificar las mediciones de la regularidad superficial de las carreteras, siendo hoy día uno de los parámetros de mayor aceptación y mayor utilización en la medida del deterioro de los pavimentos; por lo que el IRI es un indicador de lo más fundamental, y permite valorar la calidad de los pavimentos, siendo utilizado tanto para la planificación, para el diseño, conservación y mantenimiento de las carreteras. La investigación concluye que el método fotogramétrico tiene una alta precisión en el cálculo del IRI , además su implementación es muy rápida (p.8)

*ación del modelo HDM en la evaluación de proyectos de carreteras en Perú* y menciona como conclusión que existe la necesidad de implantar el IRI en nuestro país para la evaluación de la regularidad superficial, de modo que se dejaría de usar valores referenciales de otros países que conducen a una evaluación subjetiva (p.4)

**Bayona (2007)** Cuando se refiere a la aplicación de los vehículos aéreos no tripulados sostiene que los VANTs permitirían realizar estudios geofísicos. El método ha probado eficiencia de interés exploratorio. Ofrecen ventajas de extensas áreas en menor tiempo mayor resolución y densidad alta (p.17), en coincidencia con este autor, Chevarría (2019) en la investigación realizada como

“Correlación entre el índice de regularidad internacional y el índice del inventario de condición del ministerio de transportes y comunicaciones”, estudia la correlación entre el IRI y el índice de condición del Ministerio de Transportes y Comunicaciones (p.4) y cuando se refiere al objetivo general del estudio menciona el coeficiente de correlación entre el IRI y el inventario de condición (p.8), en esa misma línea cuando expresa la hipótesis general, indica que debe haber una correlación significativa que varía entre 0.5 y 0.8.. (p.36)

Ramírez (2017), en su investigación titulada “cálculo del IRI mediante acelerómetro de Smartphone en el tramo huarmey – casma de la carretera panamericana norte”, enuncia el problema, y propone objetivos e hipótesis en todos los casos se refiere al uso de los VANTSs en relación al uso de perfilómetros laser, comparando los resultados de ambos métodos y afirma tentativamente que los resultados deben ser similares (p.21)

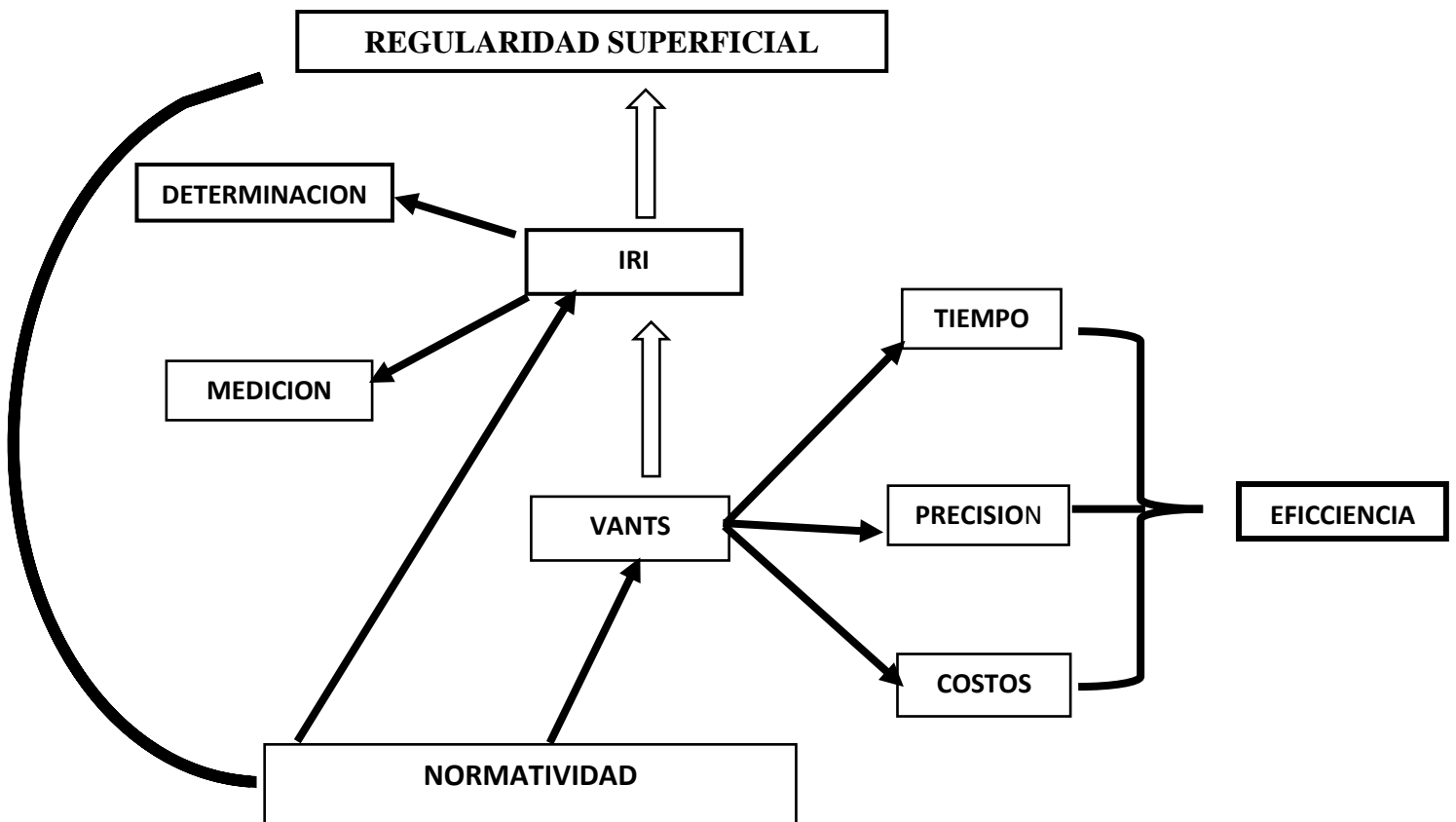
Sachun (2016) en su trabajo de investigación “estudio del índice de regularidad internacional de la panamericana norte - zona Trujillo, para su mantenimiento” de acuerdo a los puntos más importantes de su investigación, la incidencia en los aspectos socio-económicos (p.15). La investigación concluye que la carretera se encuentra en buenas condiciones y puede ofrecer un manejo confortable a una velocidad de entre 100 y 120 km /hora, y con un IRI de 29, refiere también que los ensayos con el Merlin durante 10 días ofrecieron un rendimiento de 1.5 Km/hora. (p.226)

**2.3 Estructura teórica y científica que sustenta el estudio (teorías, modelos)** En esta sección se desarrolla, los fundamentos teóricos de la investigación; y tomando en cuenta que se trata principalmente de determinar el Índice de Regularidad Internacional (IRI), como indicador de la regularidad superficial, utilizando como instrumento de medición, vehículos Aéreos no tripulados (VANTs), todo ello bajo una normatividad que estandariza el nivel de confort de las carreteras a nivel nacional. Se resumirá la teoría científica que sustentará la investigación, iniciando con un mapa conceptual y desarrollando los puntos que más directamente se relacionan con la investigación:

✓ El IRI

- ✓ Escalas de medición
- ✓ Normatividad
- ✓ Equipos
- ✓ Costos y tiempo

### MAPA CONCEPTUAL



### **2.3.1 El IRI.**

En su explicación más objetiva, se refiere a un índice que permite establecer la calidad superficial de una vía cualquiera, es decir permite establecer las condiciones de transitabilidad, pero lo más importante y es que indica si la vía tiene un buen mantenimiento, si es necesario hacerlo y en qué grado, si es necesario hacer actividades de mejoramiento en la superficie, o finalmente si ya necesita cambio de la superficie de la vía. El IRI mide principalmente el grado de deterioro de la vía, y siendo que una vía nueva presenta una horizontalidad perfecta, es decir sin irregularidades, es decir, teóricamente, la vía no presenta elevaciones ni hundimientos, no hay agrietamientos y ahuellamientos, entonces la medida más importante es la profundidad de estos hundimientos, y el índice resulta de sumar todas estas dimensiones y dividirlo entre una distancia horizontal de determinada, considerando una velocidad de vehículo de 80 km/hora.

Y de acuerdo a los autores revisados en el capítulo de antecedentes, es el banco mundial y que en el año 1986 propuso el índice de regularidad internacional (IRI), para evaluar el estado actual de vías a partir de la recolección de datos de campo y es usado en la actualidad universalmente. De manera general se dice que el índice varía de cero hasta 12 o más, siendo el cero la condición ideal de una carretera, es decir, una vía recién terminada sin ningún deterioro, tal como lo indica Angarita (p.23).

#### **Determinación del Índice.**

El índice de regularidad, ha sido determinado inicialmente tomando en cuenta los métodos de determinación basados en el uso de vehículos adecuados para este fin, de tal manera que el cálculo tiene una explicación matemática, que los autores coinciden en, tal como Badilla (2010), quien menciona lo siguiente:

El perfil longitudinal de un camino es una representación en dos dimensiones de la superficie del mismo, a lo largo de una línea imaginaria. Por lo tanto, la medición del perfil es una serie de números que representan elevaciones relativas respecto a un nivel de referencia. (p.34).

De esta manera, se tiene que el índice de un perfil es un valor calculado que resume las variaciones en el perfil de la superficie. Los detalles del cálculo determinan el

significado y significancia del índice. El valor del índice puede estar relacionado con un modelo matemático del movimiento de un vehículo o por otros índices comúnmente utilizados (p.8). Pero es Caro (2012) quien muestra de mejor manera las deducciones y fórmulas matemáticas para el cálculo del IRI:

La medición del IRI de un pavimento consiste esencialmente en cuatro pasos:

1. La medición física de un perfil longitudinal simple.
2. Dicho perfil se filtra empleando la media móvil sobre una base de 250 mm de largo. Este filtrado simula el efecto suavizante de la deformación del neumático.
3. El perfil resultante se vuelve a filtrar mediante la simulación del cuarto de auto. Esta simulación registra la respuesta física de un auto “ideal” que transita sobre el perfil a una velocidad de 80 km/h.
4. El IRI (m/km) se calcula como el movimiento acumulado (m) de la suspensión del auto “ideal”, dividido por la longitud del perfil transitado (km). (p.56)

Este autor menciona que según Sayers y Karamihis (1986) el modelo matemático se representa en la figura 2:

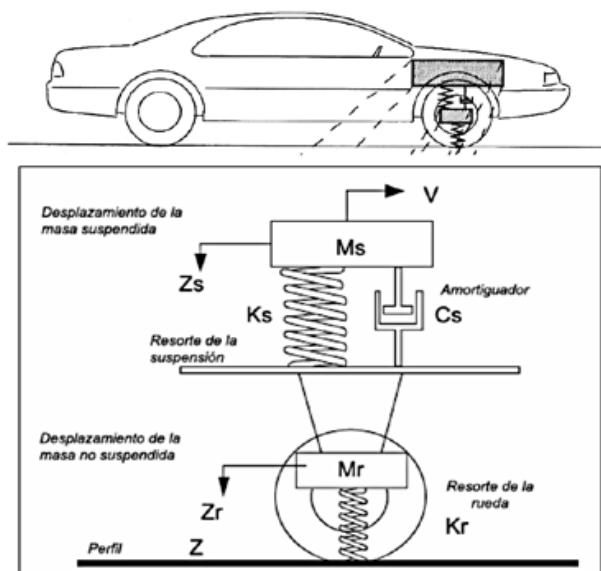


Figura 2: Medición física de un perfil longitudinal simple

Donde:

Ks: Constante del resorte de la suspensión

Kr: Constante del resorte de la rueda

Ms: Masa suspendida

Mr: Masa no suspendida

Cs: Amortiguador

Por lo anterior, el valor del IRI está definido por la Ecuación:

$$\text{IRI} = \frac{1}{L} \int_u^x I (Z_s - Z_t) dt \quad (1).$$

Donde:

**IRI** Índice de Regularidad Internacional en mm/m;

**L** Longitud del tramo

**X** Distancia de la Longitud en m

**V** Velocidad del carro modelo (80km/h)

**T** Tiempo que tarda el modelo en recorrer cierta distancia X

**dt** Incremento del tiempo

**Zs** Velocidad vertical de la masa del vehículo

**Zr** Velocidad vertical de la masa del eje

Posteriormente con el uso de métodos fotogramétricos, la determinación del IRI, obedece a la introducción de programas informáticos que traducen los datos de campo a valores del IRI, tal como lo expone **Sánchez (2018)** en su trabajo de determinación del IRI en pavimentos a partir de procedimientos fotogramétricos, indica que para el caso del método Merlín se obtuvo primero el valor de la dispersión de datos **D** en unidades Merlín, y luego con este dato el IRI a partir de la siguiente ecuación de correlación:

Para pavimentos con  $2.4 < \text{IRI} < 15.9$ ,

$$\text{IRI} = 0.593 + 0.0471D \quad (1)$$

Refiere que el procedimiento se realizó de manera automática a partir de su programación en el software **Matlab**, y mediante un fichero texto creado con los 200 valores medidos, organizados en filas y columnas, similar a como se registran en campo, se obtuvo como resultado un valor del IRI de **3.5368** m/km.(p.5)

### **Escalas de medición**

La escala de medición del IRI, igualmente se ha uniformizado en la mayoría de países, tal como indica Ascencios (2016), refiriendo como fuente de información el Banco Mundial indica una escala de medición tal como se muestra en la figura N°3.

El IRI es un parámetro cuyas unidades pueden ser m/Km, mm/m o in/mi. Usualmente va de 0 a 12, pero puede llegar hasta 20 m/km. En la figura3 se muestran los valores del IRI y las características del camino según corresponda.

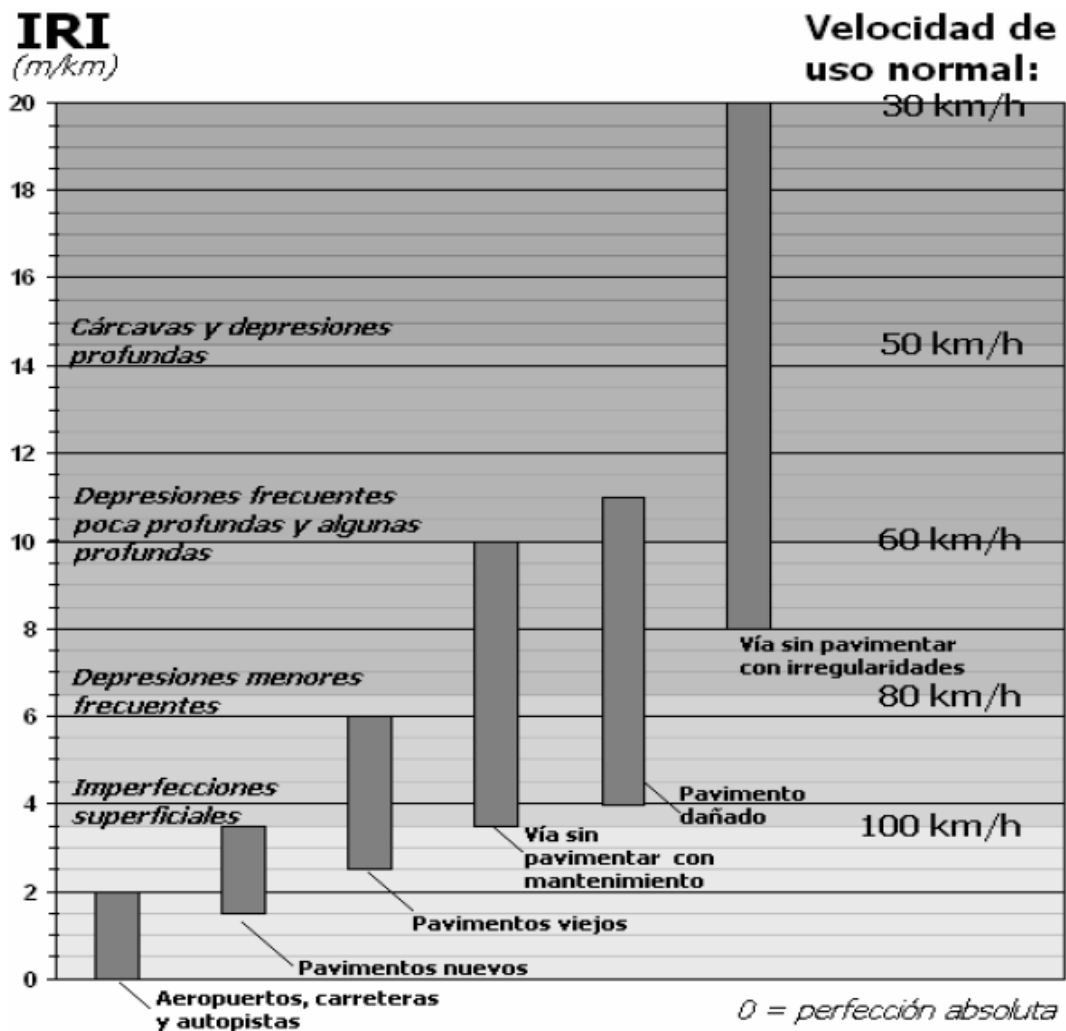


Figura 3: Indicador del IRI por el Banco Mundial (IRRE, 1982)

Fuente: Adaptado de UMTRI Research Review, 2002

Se tiene que tomar en cuenta que un IRI igual a cero se alcanza con un perfil longitudinal teórico, pues en la vida real, este valor debido a los procesos constructivo y la erosión y desgaste de la superficie de los pavimentos con el transcurso del tiempo (p.11)., en coincidencia con esta investigación, Angarita (2017), en su trabajo de investigación para obtener el índice de regularidad internacional (IRI) a partir de información obtenida por métodos fotogramétricos, igualmente afirma que:

Las unidades están en mm/m, m/km o in/mi

- ✓ El rango de la escala del IRI para un camino pavimentado es de 0 a 12 m/km. (0 a 760 in/mi), donde 0 es una superficie perfectamente uniforme y 12 un camino intransitable.
- ✓ Para una superficie con pendiente constante sin deformaciones (plano inclinado perfecto), el IRI es igual a cero. Por lo que la pendiente, como tal, no influye en el valor del IRI, no así los cambios de pendiente.
- ✓ Para los caminos pavimentados el rango esperado del IRI es de 0 a 12 m/km, donde 0 representa una superficie perfectamente uniforme y 12 un camino intransitable; para caminos no pavimentados (p.22).

### 2.3.2. Equipos.

Soldminihac (2019). Junto a otro investigador son los autores de un texto de gestión de infraestructura y exponen de manera muy clara lo referente a equipos utilizados en la determinación del IRI, y a ellos pertenece lo que se muestra lo referente a equipos en toda esta sección.

#### A. Equipos de clase 1.

*Esta clase de equipos es la de mayor precisión. Los equipos incluidos en esta clase se clasifican en dos grupos: aquellos que usan tecnología laser (Figura 4) para obtener el microperfil del pavimento y aquellos que estiman la diferencia de cotas (figura 5)*

*los perfilómetros laser son equipos de alto rendimiento, que consisten en un grupo de cámaras laser adosadas a una viga metálica que se montan en un vehículo. Permite realizar mediciones a la velocidad de circulación y la longitud de medición, depende del rendimiento del vehículo(pag.199)*

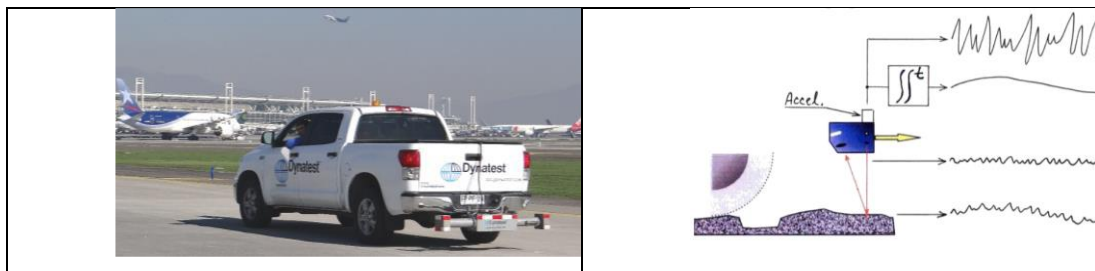


Figura 4 :Perfilómetro laser / esquema de operación del sensor laser y el acelerómetro



Equipos que miden la diferencia de cotas son precisos, pero de bajo rendimiento como se muestra en la Figura 5y 6.



Figura 5: Inclínómetros para evaluación funcional de pavimentos

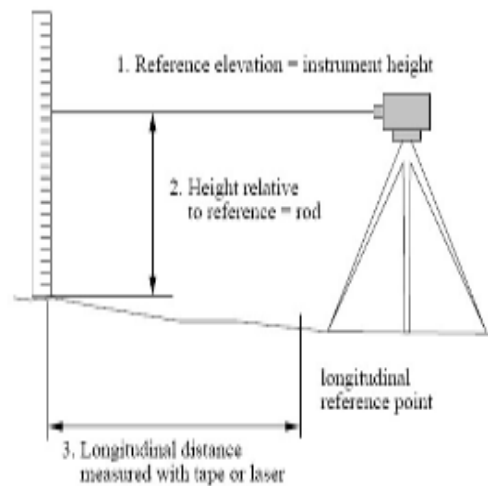


Figura 6: Equipo topográfico / varilla(mira) y nivel

## B. Equipos Clase II

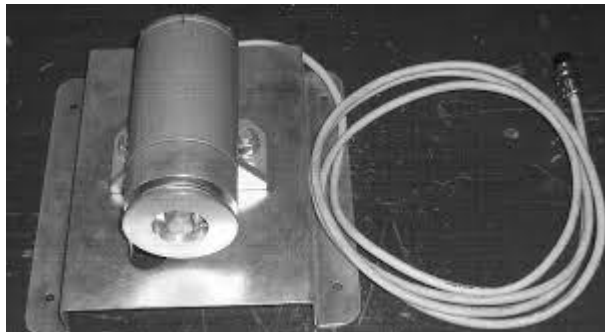
Perfilómetros que usan otros métodos, esta clase incluye métodos dinámicos de medición del perfil que determinan una elevación directa o mediante cálculos estadísticos a partir de los datos de elevación directamente o mediante cálculos

*estadísticos a partir de contacto. Estos equipos son menos precisos que los de Clase I. (pag.200)*

### **C. Equipos Clase III**

*Estimados IRI tomados de ecuaciones de correlación , los equipos clase III incluyen aparatos mecánicos o electrónicos que miden indirectamente el perfil de los pavimentos a partir de registro de vibraciones o aceleraciones verticales. Son particularmente útiles para medir caminos muy rugosos, en especial caminos no pavimentados. Existen tres tipos de equipos Clase III: Los sistemas de respuesta, los de regla deslizante y el rugosímetro de MERLIN.*

*Los sistemas de respuesta (Response type Road Roughness Measuring Systems, RTRRMS), miden la respuesta dinámica del vehículo al camino ya sea mecánicamente (Figura 4) o usando acelerómetros. Los sistemas basados en acelerómetros son mas fáciles de calibrar que los mecánicos, pero no entregan resultados tan precisos y requieren de un esfuerzo importante de posprocesamiento de datos . Los de tipo regla deslizante incluyen diferentes tipos de perfilografos, que miden los desplazamientos verticales respecto de una referencia móvil (pag.200)*



*Figura 7: Medidor de Rugosidad Clase III / (Bump integrator)*

*También mostramos equipo de medición manual como El Rugosímetro de (MERLIN: Machine for Evaluating Roughness using Low-cost Instrumentation) como se muestra en la figura 8.*

*Es un instrumento que permite estimar el IRI mediante mediciones Manuales a baja velocidad(Cundil,1991). El equipo consta de una rueda frontal(Front Foot),un apoyo trasero (Rear foot) y un mango trasero (Handlers) que permite a un operador empujarlo manualmente hacia adelante en el sentido de la medición. En un desplazamiento el equipo cubre una distancia de 1.8 metros, sobre la cual mide las diferencias de cotas*

del pavimento a partir de un calibre(probe) que se apoya en el pavimento. El Calibre esta contrapesado(weght) y acoplado a un brazo móvil(moving arm), mediante un Pivote(pivot) lo que permite amplificar los desplazamientos medidos con el calibre y registrarlos mediante un puntero(pointer), sobre una ficha(chart). (pag.201)

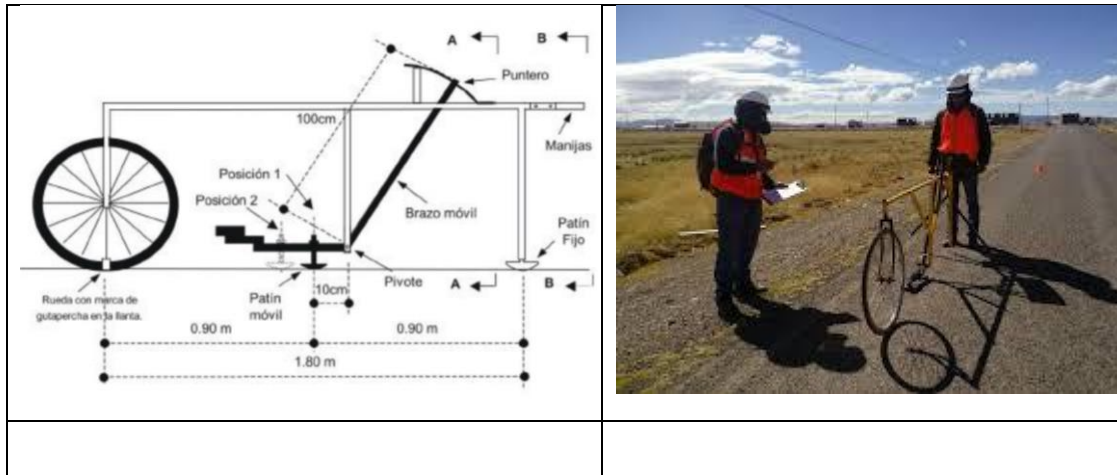


Figura 8 :Ilustración del Rugosímetro de MERLIN (Adaptado de Solminohac,2019)

#### Equipos Clase IV

*Esta clase de equipos es la de menor precisión. A partir de inspección visual se obtiene apreciaciones subjetivas de la rugosidad del pavimento. Se utiliza cuando no se requiere una precisión tan alta o cuando no son asequibles equipos de mayor precisión.( pag.201)*

En la Tabla 2 se muestra la clasificación de equipos de medición de regularidad superficial de acuerdo a la precisión.

Tabla 2:

*Clasificación de equipos de medición de regularidad / Banco Mundial*

Clase	Equipo
Clase 1/ Perfiles de precisión	Mira y nivel Viga TRRL
Clase II / Otros métodos de perfilometria	Perfilómetro APL Perfilómetro Inercial GMR

Clase III / Estimaciones de IRI a partir de ecuaciones de correlación	Rugosímetro BPR Bump Integrator NAASRA Maysmeter Rolling Straightedge MERLIN
Clase IV / Evaluaciones subjetivas/ mediciones no calibradas	Sistemas de calificación Inspecciones visuales Evaluaciones subjetivas en base a la conducción sobre secciones

Fuente: mecanista.com / evaluación funcional de pavimentos

En la figura 9 se muestra la clasificación actualizada de los equipos de medición de regularidad publicada por el banco mundial donde ya menciona al perfilómetro laser

<b>CLASIFICACIÓN DE EQUIPOS DE MEDICIÓN DE RUGOSIDAD SEGÚN BANCO MUNDIAL</b>	
<b>CLASE</b>	<b>EQUIPO</b>
<b>Clase I Perfiles de precisión</b>	Perfilómetros láser: Equipos láser livianos y portátiles para recolección del perfil sin contacto con la superficie Equipos de operación manual: Viga TRL, Dipstick, ARRB Walking Profiler
<b>Clase II Otros métodos de perfilometría</b>	Perfilómetro APL, perfilógrafos (California, Rainhart), perfilómetros ópticos, otros perfilómetros inerciales sin láser (perfilómetro GMR)
<b>Clase III Estimaciones de IRI a partir de ecuaciones de correlación</b>	Roadmaster, Bump Integrator, Roughometer ARRB, TRL Bump Integrator, Rolling straightedge, MERLIN.
<b>Clase IV Evaluaciones subjetivas / mediciones no calibradas</b>	Sistemas de calificación, inspecciones visuales, evaluaciones subjetivas en base a la conducción sobre secciones.

*Figura 9:* Clasificación de equipos actualizados / Banco mundial  
Fuente: mecanista.com / evaluación funcional de pavimentos

### 3. VANT (Vehículos aéreos no tripulados)

Como propuesta del trabajo se tiene a los vehículos aéreos no tripulados con autonomía de maniobra provisionados de una cámara que capta ortofotos a lo largo de la vía, tal como se muestra en la figura 10.



*Figura 10: VANT equipado con cámara (sensor)*

#### 2.3.3. Normatividad

1. AASHTO (Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes) O por sus siglas en inglés (American Association of State Highway and Transportation Officials) es un sección que crea normas, anuncia especificaciones y hace pruebas de protocolos y guías usadas en el diseño y construcción de autopistas en todo los Estados Unidos. Esata asociación también realiza estudios y fomenta normas para temas relacionados a transporte Aereo, ferrocarriles , transporte publico entre otros.

La AASHTO está conformada por miembros de los Departamentos de Transporte de los Estados Unidos, Puerto Rico y del Distrito de Columbia. operadores de peajes, la mayoría de las provincias canadienses al igual que los departamento de carreteras

de Hong Kong, el Ministro de Obras Públicas y Asentamientos de Turquía y la Asociación Nigeriana de Funcionarios de Carreteras y Transporte Público son miembros observadores sin voto.

## 2. Manual de Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013)

Este Manual tiene como propósito ser como texto de consulta en materia de especificaciones técnicas generales en la fase constructiva de una obra vial que sirve para uniformizar la consistencia de las actividades y materiales que son frecuentes en proyectos de obras viales, otro objetivo también es prevenir y disminuir las probables debates que se crean en la gestión de contratos y difundir la calidad del trabajo, específicamente la presente investigación está asociado a determinar la regularidad superficial que es uno de los parámetros que solicita como umbral de condición los indicadores del IRI como se detalla en la tabla 03.

Tabla 3 :

*Regularidad de Pavimentos de acuerdo al Tipo de Superficie/ EG-2013)*

Tipo de Superficie	IRI (m/km)
Afirmados	$\leq 5$
Suelos estabilizados	$\leq 6$
Tratamientos Superficiales	$\leq 2.5 / @100m$ en ambas huellas
Pavimentos Asfálticos	$\leq 2.0 / @100m$ en ambas huellas

Fuente: EG-2013 / MTC

El Manual de Especificaciones Técnicas Generales para Construcción (EG-2013) es un manual de uso obligatorio elaborado por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones a través de la Dirección de Caminos y Ferrocarriles, como herramienta de consulta para controlar actividades de ejecución y supervisión/inspección, ajustándose a las políticas y procedimientos de la Entidad; asimismo, a los estándares, pautas y a las buenas prácticas de la ingeniería.

Asimismo, el “Manual de Mantenimiento o Conservación Vial” forma parte de los Manuales de Carreteras establecidos por el Reglamento Nacional de Gestión de Infraestructura Vial, aprobado por D.S. N° 034-2008-MTC

#### 2.3.4. Costos y tiempo.

Se parte de la definición de los factores de producción como los insumos que se utilizan para producir otros bienes o servicios. Así, pueden dividirse en cuatro: tierra, trabajo, capital y tecnología. El trabajo y la tecnología incluyen el tiempo y mientras que la tierra y el capital incluyen los costos.

**Tiempo.** En el presente caso, se refiere al tiempo de demora en efectuar las mediciones el VANT, el mismo que será comparado con la demora de los equipos tradicionales, los rugosímetros en la presente investigación

**Costos.** En su acepción más general, el término **costo** se refiere al valor monetario de los gastos de las materias primas, equipos, suministros, servicios, mano de obra, productos, etc., que se utilizan para la creación del producto o servicio. Pero la acepción que más se adapta a la presente investigación es que toma a los costos como parte de los costos de producción, también llamados **costos** de operación, son los costos necesarios para mantener un proyecto, línea de procesamiento o un equipo en funcionamiento. Este último sería el que específicamente encaja como el costo que significa los equipos para determinar el IRI, los mismos que al igual que en el caso del tiempo, se compararán entre sí.

La única discriminación de costos en este caso es dos: variables y fijos.

**Los costos variables** son directamente proporcionales a la producción y los costos **fijos**, en cambio, son independientes de la producción. En el presente caso se debe considerar como unidad de producción los km de carretera cuyo IRI se ha determinado. De tal manera que los costos fijos en el caso de la presente investigación serán aquellos que permanecen constantes sin tomar en cuenta los km de carretera en cambio los costos variables son aquellos que varían en relación a los km de carretera donde se ha determinado el IRI. Este concepto tiene relevancia en su aplicación cuando se trata de grandes unidades de producción, es decir grandes km de carretera en este caso, que sí ocurrirá cuando se evalúe el procedimiento aplicado a nivel nacional.

#### 2.4. Definición de términos básicos

**Costos.** De manera general, los diccionarios lo definen como la cantidad de dinero que cuesta una cosa, pero la acepción económica, lo define como el valor de los insumos que se utilizan para una determinada actividad. En el presente caso se quiere cuantificar el costo para determinar el Índice de regularidad Internacional usando uno u otro método. Pero a su vez se puede distinguir los costos que permanecen constantes durante todo un proceso o aquellos que varían cuando el número de actividades aumenta, los primeros son los costos fijos y los segundos son los costos variables.

. **Eficiencia:** Se refiere a lograr las metas con la menor cantidad de recursos. Obsérvese que el punto clave en esta definición es ahorro o reducción de recursos al mínimo. A diferencia de la eficacia que consiste en alcanzar las metas establecidas sin tomar en cuenta costos ni tiempos. En el presente caso se sustenta como parte del problema la ineficiencia de los métodos que en la actualidad e usa en la determinación del IRI.

**IRI** (Índice de Regularidad Internacional). Es un parámetro que se utiliza, para determinar su regularidad y la comodidad en la conducción. Aunque la transcripción exacta del término *roughness* es "regularidad", se ha adoptado "regularidad" como un calificativo más adecuado a la hora de definir el IRI.

Para confeccionar la definición del IRI, los expertos del Banco Mundial crearon, en los años 80, un modelo denominado "cuarto de coche" o "Quarter Car", que simulaba la 4ª parte de un coche, y que constaba de los siguientes parámetros para la definición del IRI:

4. **Precisión.** Los diccionarios lo definen como el ajuste completo o fidelidad de un dato, cálculo, medida, expresión, etc. En la presente investigación se trata de establecer la diferencia en precisión entre dos métodos de determinación del IRI, cuando se trata de leer u observar los datos numéricos que ambos métodos generan.

5. **Tiempo.** El **segundo** es la unidad de **tiempo** en el Sistema Internacional de Unidades, el Sistema Cegesimal de Unidades y el Sistema Técnico de Unidades. Un **minuto** equivale a 60 segundos y una **hora** equivale a 3600 segundos. En el presente caso se determinará a partir de la velocidad que en



cada caso emplean los vehículos en la determinación del IRI en un determinado tramo de la vía medido en kilómetros de longitud.

**6. VANT** (Vehículo Aéreos No Tripulado) Un vehículo aéreo no tripulado (VANT), UAV (del inglés unmanned aerial vehicle)

## 2.5. Hipótesis

### 2.5.1. Hipótesis General:

El uso de VANTs impacta significativamente en la eficiencia para determinar la regularidad superficial del camino departamental CU-112, en comparación con los sistemas tradicionales RTRRMS

### 2.5.2. Hipótesis específicas

- 1) El uso de VANTs proporciona un mayor nivel de precisión cuando se determina la regularidad superficial del camino departamental CU-112, en comparación con los sistemas tradicionales RTRRMS
- 2) El uso de VANTs impacta significativamente en el tiempo de demora para determinar la regularidad superficial del camino departamental CU-112, ¿en comparación con los sistemas tradicionales RTRRMS?
- 3) El uso de VANTs impacta significativamente en los costos para determinar la regularidad superficial del camino departamental CU-112, en comparación con los sistemas tradicionales RTRRMS

## 2.6. Variables

La investigación consiste básicamente, en determinar la regularidad superficial usando VANTs para la toma de datos, por lo tanto, en la tabla 2 se muestran las variables principales, en este caso, siendo el IRI el indicador un coeficiente, su valor depende de los datos con que se la determina la variación longitudinal y transversal en determinado tramo de camino departamental, por lo tanto las variables son el IRI y el uso del VANTs

Tabla 4:  
*Variables en estudio*

Hipótesis	Variable dependiente	Variable independiente
General		VANTs

<p>¿El uso de VANTs impacta significativamente en la eficiencia para determinar la regularidad superficial del camino departamental CU-112, en comparación con los sistemas tradicionales RTRRMS?</p>	<p>Determinación de la regularidad superficial del camino departamental CU-112</p>	
<p><b>Específicas</b></p>	<p>Precisión para determinar la regularidad superficial del camino departamental CU-112</p>	<p>VANTs</p>
<p>a) El uso de VANTs impacta significativamente en el nivel de precisión para determinar la regularidad superficial del camino departamental CU-112, en comparación con los sistemas tradicionales RTRRMS?</p>	<p>Precisión para determinar la regularidad superficial del camino departamental CU-112</p>	<p>VANTs</p>
<p>b) ¿El uso de VANTs impacta significativamente en el tiempo de demora para determinar la regularidad superficial del camino departamental CU-112, en comparación con los sistemas tradicionales RTRRMS?</p>	<p>Tiempo para determinar la regularidad superficial del camino departamental CU-112</p>	<p>VANTs</p>
<p>c) ¿El uso de VANTs impacta significativamente en los costos para determinar la regularidad superficial del camino departamental CU-112, en comparación con los sistemas tradicionales RTRRMS?</p>	<p>Costos para determinar la regularidad superficial del camino departamental CU-112</p>	<p>VANTs</p>

**Variable Regularidad Superficial**

**Indicador:** El IRI es un coeficiente que se obtiene de la sumatoria de las desviaciones verticales entre una determinada longitud horizontal de un camino

**Definición Conceptual:** la Regularidad superficial es un parámetro que se utiliza, para determinar la regularidad y la comodidad en la conducción. Aunque la transcripción exacta del término *rough Ness* es "rugosidad", se ha adoptado "regularidad" como un calificativo más adecuado a la hora de definir la Regularidad Superficial.

**Definición Operacional.** Se refiere al logro del objetivo general, que es la evaluación de las mediciones realizadas para determinar la regularidad superficial a través de un indicador denominado: Índice de Regularidad Internacional (IRI) cuyo valor es el resultado de aplicar la respectiva fórmula que incorpora básicamente, el valor de las dimensiones verticales que indican el grado de deterioro, y dimensiones horizontales el tramo de vía analizada.

**Dimensiones:** Se estudia la variable en su totalidad, por lo tanto no tiene dimensiones.

**Instrumento de medición.** Observación directa.

**Ítem.** Se refiere, al lugar que ocupan los datos dentro de la ficha de registro de datos, en este caso, a las medidas horizontales y verticales.

**Variable VANTs**

**Indicador:** El VANTs es analizado como una herramienta para obtener los datos de campo pero la operación se realiza adicionalmente con la aplicación de una **cámara** que tiene un determinado grado de resolución.

**Definición Conceptual:** Son Vehículos Aéreos no Tripulados que como su nombre lo indica tienen autonomía de vuelo, es decir, no son tripulados, en el caso de la determinación del IRI, resultan una alternativa a considerar, tomando en cuenta el menor tiempo de demora en las operaciones y posiblemente menores costos.

**Definición Operacional.** Se refiere al logro del objetivo general, que son las mediciones realizadas para determinar las dimensiones horizontales y verticales. Este trabajo lo realiza básicamente la cámara que va incorporada del VANTs.

**Dimensiones:** Como se ha indicado en la definición operacional, en términos de operatividad está compuesto por el vehículo que es el VANTs por la cámara que va incorporada en él.

**Instrumento de medición.** Observación directa.

**Ítem.** Se refiere, al lugar que ocupan los datos dentro de la ficha de registro de datos, en este caso, a las características del VANTs y de la cámara.

La matriz de operacionalización se presenta en **ANEXOS**, al igual que la matriz de consistencia que relaciona cada variable con su respectiva hipótesis.

### III. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1. Tipo y Método De Investigación

**3.1.1. Por el enfoque.** Investigación cuantitativa porque se trata de cuantificar el problema como es el caso de la regularidad superficial en carreteras y además implica el uso de herramientas matemáticas y estadísticas para llegar al resultado final, tal como en el presente caso donde se compara eficiencias que se expresa numéricamente.

**3.1.2. Nivel de Investigación .** Es una investigación descriptiva porque no se manipula ninguna de las variables, es decir no hay rangos de variación de éstas, provocado por el investigador, en este caso se trata de determinar el IRI utilizando como instrumento el VANT con su cámara, y recopila la información de campo que este instrumento produce. No es posible manipular esta variable porque para cada tipo de VANT corresponde un tipo específico de cámara, de tal manera que no se podría adaptar cámaras de diferente resolución al mismo VANT. Lo que sí se propone utilizar una cámara de la misma resolución que la utilizada por el perfilómetro que es el instrumento de comparación.

Se puede medir el efecto que la variable independiente ejerce sobre la variable dependiente; pero en un solo rango.

**3.1.3. Diseño de Investigación.** La tipificación desarrollada, define al presente estudio como un **estudio no experimental**, que cuenta con un dos grupos de comparación equivalentes; con una variable independiente (VANTs ) y otra dependiente (sistemas RTRRMS). De tal manera que se trata simplemente de realizar observaciones o mediciones en una sola muestra que en este caso es la totalidad de unidad de investigación.

La expresión sería la siguiente:

$M_1 \longrightarrow O_1$

Donde:

M es la muestra O es la observación

#### 3). Pruebas estadísticas.

Se ha determinado los principales estadísticos, como, la media, desviación estándar, coeficiente de variación, mediana y curtosis.

**3.1.4. Método. hipotético-deductivo** porque se parte de la observación del fenómeno a estudiar enunciándolo como problema, se llega a la creación de una hipótesis y su desarrollo lleva a resultados que explican el fenómeno o problema planteado en la propia hipótesis.

### **3.2. Población y Muestra.**

**3.2.1. Población.** En este caso, la población está constituida, por todos los accidentes o deterioros a lo largo de toda la vía en estudio, que son susceptibles de medir tanto longitudinalmente como horizontalmente, no cabe ningún criterio de inclusión ni de exclusión ya se indicó que la muestra es igual que la población. Su cuantificación solo es posible después del trabajo de campo.

**3.2.2. La Muestra.** Se ha tomado como muestra del estudio un tramo de 5.4 km de la vía, mediante una selección dirigida, tomando en cuenta que este tramo reuma en lo posible las características críticas de la vía, tales como sinuosidad y pendientes.

**3.2.3. Unidad de análisis.** Cada irregularidad o desnivel del pavimento a lo largo de toda carretera en estudio.

### **3.3. Técnicas e Instrumentos De Recolección De Datos**

La recolección de datos para la determinar la regularidad superficial realiza a partir de los datos de campo, utilizando fichas de recolección de datos como se detalla en la tabla 4.

Tabla 5:

*Ficha de registro de Obtención y procesamiento de Datos*

<b>FICHA DE REGISTRO DE DATOS</b>	
<b>INVESTIGACION</b>	<b>: Regularidad Superficial del Camino Departamental CU-112 Determinado por Imágenes Captadas por VANTS</b>
<b>INVESTIGADOR</b>	<b>: WILSON CLAUDIO OLIVERA QUISPE</b>
<b>NOMBRE DE VIA</b>	<b>: EMP.PE-28B(PISAC) CHAHUAYTIRI-COLQUEPATA- EMP.CU-113(PAUCARTAMBO)</b>
<b>CODIGO (SINAC)</b>	<b>:CU-112</b>
<b>TRAMO</b>	<b>: Km 68+400 al Km 73+800</b>
<b>UBICACIÓN:</b>	<b>: PAUCARTAMBO - CUSCO</b>

\*\*\*\*\*

Descripción	Unidad	Cantidad	C. Unitario	Parcial
<b>1. Personal</b>				
1.1 Operador Vant´s	Día			
1.2 Asistente de Campo	Día			
1.3 Técnico de Procesamiento datos	Día			
<b>2. Equipos</b>				
2.1. Alquiler de equipo/ VANT	Día			
2.2. Alquiler Camioneta (Maq. Servida)	Día			
2.3. Viáticos Personal	Plato/Día			
2.4 Hospedaje Personal	Hab./Día			
<b>3. Materiales</b>				
3.1. Pintura	Lts			
3.2. Cal(yeso)	Kg			
<b>4. EPP /COVID-19.</b>				
3.1 Prueba Rapida	Und			
3.2 Mascarilla Quirurgica	Und			
3.2 Careta facial	Und			
3.3 Alcohol en gel x 360 Ml	Und			

Fuente: Elaboración propia

### 3.4. Descripción de Procesamiento y Análisis De Datos

#### Estadística descriptiva

Tabla 6:  
*medidas de tendencia central, y medidas de dispersión*

Variables	Indicador	Escala de medición	Estadísticos descriptivos	Prueba Estadística
Regularidad Superficial	IRI	Continua, de razón	Media, mediana Moda,  Desv estándar, curtosis.	Comparación de datos
	Indicador	Escala de medición	de Estadísticos descriptivos	Prueba estadística
VANTs equipado	Nivel precisión	Continua Ordinal	Numeración	Comparación de datos

**Prueba estadística** – En todos los caos, se trata de comparar, promedios.

## IV. RESULTADOS Y ANALISIS DE RESULTADOS

### 4.1 Resultados.

En este capítulo se los resultados de los trabajos de campo, trabajos de gabinete y los resultados finales de la determinación del IRI

#### 4.1.1. Preliminares

##### Características del equipo utilizado

Para el trabajo se utilizó un VANT de marca DJi Phantom 4 Pro V2.0 las cuales se detallan en la tabla 6

Tabla 7:

*Componentes y características del VANT utilizado en la investigación*

Componentes	Características
VANT	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tiempo de vuelo: 30 minutos</li> <li>• Rango de control de hasta 7 Km</li> <li>• Velocidad máxima: Modo S: 72 km/h, Modo A: 58 km/h, Modo P: 50 km/h.</li> <li>• Sistemas de posicionamiento: GPS / GLONASS</li> </ul>
Cámara	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sensor: 1 " CMOS píxeles efectivos: 20M</li> <li>• Lente: FOV 84 ° 8.8 mm / 24 mm (formato equivalente a 35 mm) f / 2.8 – f / 11 enfoque automático a 1 m – ∞</li> <li>• Rango ISO: Video: 100 – 3200 (Auto) 100 – 6400 (Manual) Foto: 100 – 3200 (Auto) 100 – 12800 (Manual)</li> <li>• Velocidad de obturación mecánica: 8 – 1/2000 seg.</li> <li>• Velocidad de obturador electrónica de 8 – 1/8000 seg.</li> <li>• Max Bitrate de video: 100 Mbps.</li> <li>• Foto: JPEG, DNG (RAW), JPEG + DNG.</li> <li>• Vídeo: MP4 / MOV (AVC / H.264; HEVC / H.265).</li> <li>• Tarjetas SD compatibles: Capacidad Micro SD Max: 128GB Velocidad de escritura <math>\geq 15</math>MB / s, clasificación Clase 10 o UHS-1 requerida</li> </ul>
Control remoto	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Frecuencia: 2.400 – 2.483 GHz y 5.725 – 5.850 GHz.</li> </ul>



- Distancia máxima de transmisión: 2.400 – 2.483 GHz (sin obstrucciones, sin interferencia) FCC: 7 km. CE: 4 km. SRRC: 4 km 5.725 – 5.850 GHz (sin obstrucciones, sin interferencia). FCC: 7 km. CE: 2 km. SRRC: 5 km.
- Batería: 6000 mAh LiPo 2S.
- Dispositivo móvil: GL300K: Dispositivo de visualización incorporado (pantalla de 5,5 pulgadas, 1920 × 1080, 1000 cd / m<sup>2</sup>, sistema Android, memoria RAM de 4 GB + 16 GB) GL300L: tabletas y teléfonos inteligentes

#### Batería

- Capacidad de 5870 mAh
- Voltaje 15.2 V
- Tipo de Batería: LiPo 4S.
- Peso neto de 468 gramos
- Rango de temperatura de carga: 5 ° a 40 ° C

Fuente : <https://prizmadrones.pe/tienda/busqueda-rescate/phantom-4-series-busqueda-rescate/phantom-4-pro-v2-0-2/>.



*Figura 11: Componentes del equipo*

#### 4.1.2. Trabajo de Campo:

Para el inicio del trabajo en campo se solicitó autorización al Gerente Vial / CONSORCIO CCECC PERU, para la autorización de ingreso al Corredor Vial Cusco-Madre de Dios, Tramo Colquepata – Paucartambo, ubicado en el Departamento del Cusco, Provincia de Paucartambo

Esta etapa se subdividió en 5 subetapas como se detalla a continuación

##### **Reconocimiento del tramo para la misión de vuelo:**

Consiste en realizar el recorrido caminado para tener en cuenta las consideraciones básicas de la misión de vuelo con el VANT de manera que se pueda identificar las posibles interferencias a lo largo de todo el tramo, como árboles, postes de alumbrado público, peñascos, quebradas, ríos, viviendas en caso se atravesase una zona urbana, etc. para definir la altura de vuelo y la ubicación de lo punto de referencia(PR), precisar que para otros trabajos se debe realizar la monumentación de hitos y georeferenciación de hitos de fotocontrol, pero para esta caso en particular se ubicaran en los Puntos de referencia (PR) que están etiquetados y se ubican a lo largo del toda la franja en estudio como se muestra en la figura, toda vez que debemos recordar que la vía esta en la fase de ejecución y se cuenta con dicha información como parte del inventario vial calificado que realizó el CONSORCIO CONSERVADOR.

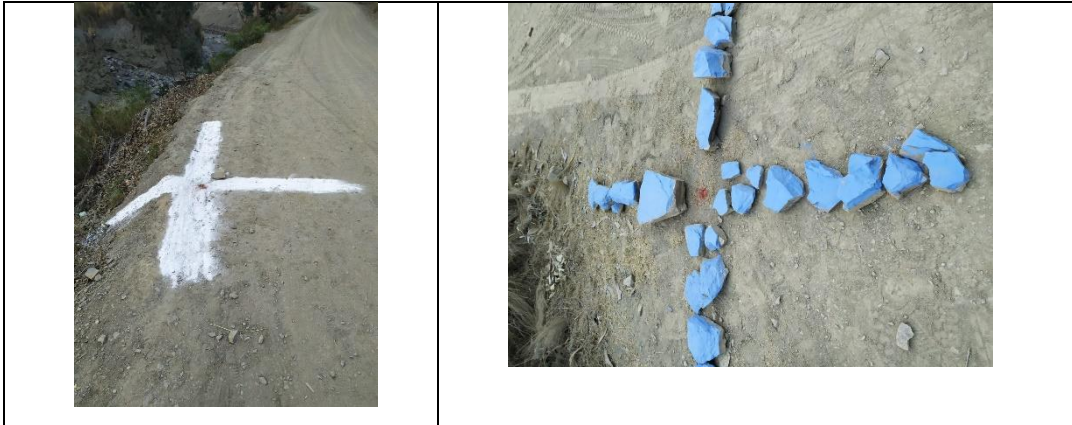


*Figura 12: Reconocimiento de Tramo a sobre volar /VANT*

Fuente: Imágenes obtenidas en el trabajo de campo

##### **Etiquetado de los Puntos de referencia y fotocontrol:**

Considerando que la vía actualmente está en ejecución los Puntos de referencia como su propio nombre lo indican ya cuentan con coordenadas geo referenciadas y lo que corresponde es etiquetar con letras mayúsculas con un icono en forma de cruz o equis para que puede visualizarse del VANTS, como se muestra en la figura 2:



*Figura 13:* Marcas de Foto control

Fuente: Imágenes obtenidas en el trabajo de campo

Este trabajo se puede realizar con Banners o marcas con yeso (cal) o colocar piedras en forma de equis pintadas con un color que resalte al paisaje, luego de haber etiquetado a lo largo de toda faja de estudio en la cual se realizar el estudio se procederá a la sub-etapa .

### **Verificación componentes del VANTS:**

Para ello se realizará una verificación del funcionamiento de todos los componentes y accesorios del equipo para que inicie el vuelo como se muestra en la Figura 3.



Equipos y accesorios para iniciar el vuelo

Verificación del equipo

*Figura 14::Equipos y accesorios para iniciar el vuelo / Verificación del equipo*

Fuente: Imágenes obtenidas en el trabajo de campo

Tabla 8:

*Verificación de Componentes del equipo previo al inicio del plan de vuelo*

N°	Componente / Accesorio	Especificaciones
1	Baterias / VANTs	Deben estar cargadas al 100%, este dato se verifica en pantalla del smarfone en al cual aparece un icono el cual nos indica el % de carga del equipo.
2	Bateria / Smarfone	Del mismo mode de be estar cargado al 100%, este dato se verifica en pantalla del smarfone , de esto dependerá el éxito de trabajo
3	Control remoto o mando a distancia del VANT	Verificar el encendido y funcionamiento
4	Extensión de la Antena de control remoto o mando de distancia	Verificar el encendido, que el control manual del VANT es operativo (en casos de emergencia)

5	Elises del multirrotor	Comprobar que se puede iniciar o detener las manualmente
6	WI-FI mando de distancia y Aeronave El VANT debe ubicarse	Verificar la señal WI-FI entre ambos dispositivos Ubicarse en un lugar estratégico de manera que llegue con facilidad la señal de GPS, y puede retornar la aeronave cómodamente sin obstáculos

### **Configuración del Software PIX4D (App):**

Previamente se encendió el equipo para verificar el porcentaje de carga de las baterías tanto del VANTs como del Smarfone , y finalmente pasamos a sub etapa

#### **(5.a) Operación y Misión de vuelo del VANT.**

Luego de haber realizado las verificaciones del perfecto estado de funcionamiento del equipo se inició con la misión vuelo, en esta sub etapa es importante precisar que el Operador de la Nave debe estar capacitado y tener la pericia , en caso la aeronave tenga dificultades en la misión y tenga que abortar la operación El operador tenga que tomar el control para retornar la aeronave al punto de partida, en este caso para que el operador se familiarice con la manipulación y operación de un VANT se recomienda practicar en simuladores de vuelo que existen en el mercado, entre los más conocidos tenemos Xplane , AerosimRC , Realflight , Phoenix, como también algunos Drones tienen su propio simulador como es el caso de la Marca DJI.

Las misiones se pueden programar en Gabinete y también en campo, pero lo más recomendable es realizar en gabinete, considerando que se tiene conexión WI-FI estable a Internet y entre otros factores como la Luz solar que impide ver con claridad la pantalla del computador cuando nos encontramos en campo, las misiones propiamente dichas se programan en mapa virtual como es el google earth,. Respecto a la precisión está en función a la altura de vuelo sobre el objetivo en este caso sería la faja de estudio o tramo a medir la regularidad

superficial de la Via Departamental CU-112 (Pisac -Paucartambo), a mayor altura menor será la precisión y menor altura mayor precisión, la altura de vuelo y la precisión son inversamente proporcionales, el tiempo de vuelo está en función de la capacidad de carga que tenga el VANTS , importante considerar que en las especificaciones del VANT la duración de un tiempo de vuelo que no siempre se ajusta a la realidad por diversos factores como el clima , el viento, deterioro normal de la vida útil de las baterías por el tiempo de uso, entre otras factores, importante considerar que previo a la misión se realizan algunas configuraciones en las cuales el porcentaje de al batería estaría mermando y eso resta en la duración del vuelo.



*Figura 15: Configuración del Software para el inicio del Plan de Vuelo*

#### **4.1.3. Trabajo de Gabinete.**

En esta etapa para el procesamiento se utiliza el software PIX4Dinterprise el cual se subdividirá en 5 sub etapas como se detalla a continuación,

##### **Imágenes y coordenadas de los hitos geo referenciados.**

Los hitos de georreferenciación para la presente investigación fueron los proporcionados por el CONSORCIO CCECC PERU y los que se encontraron etiquetados y monumentados a lo largo del corredor vial del inventario vial calificado como parte del Relevamiento de información INICIAL.

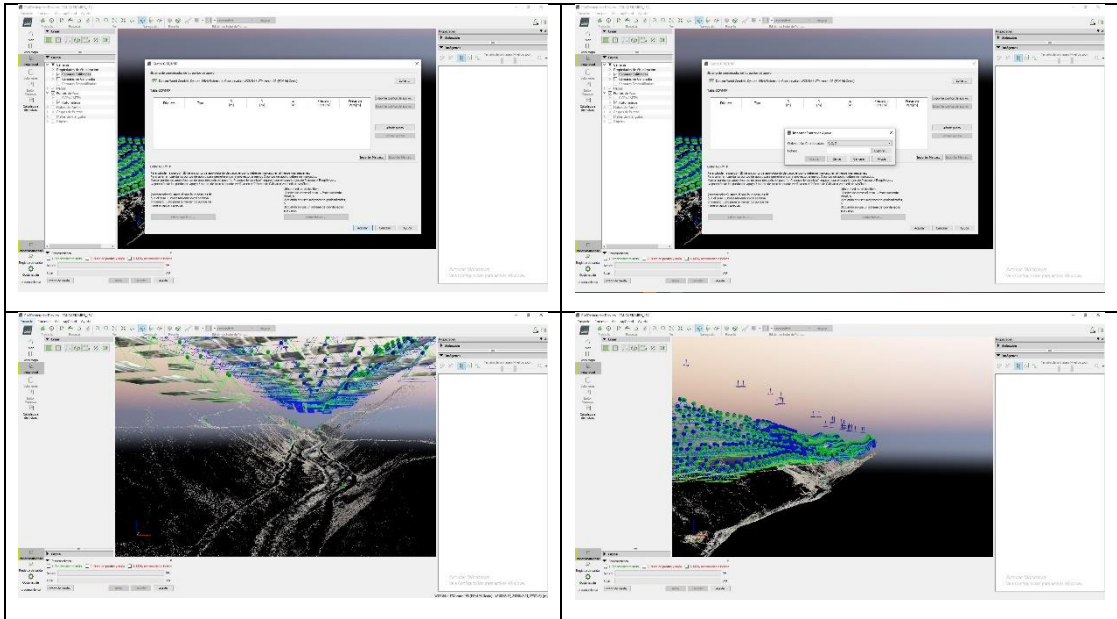


Figura 16: Importación de imágenes y coordenadas de los hitos georreferenciados

**Orientación interna:**

Consiste en el reconocimiento de puntos identificables mediante algoritmos de correlación, puntos clave de imagen y puntos de coincidencia,

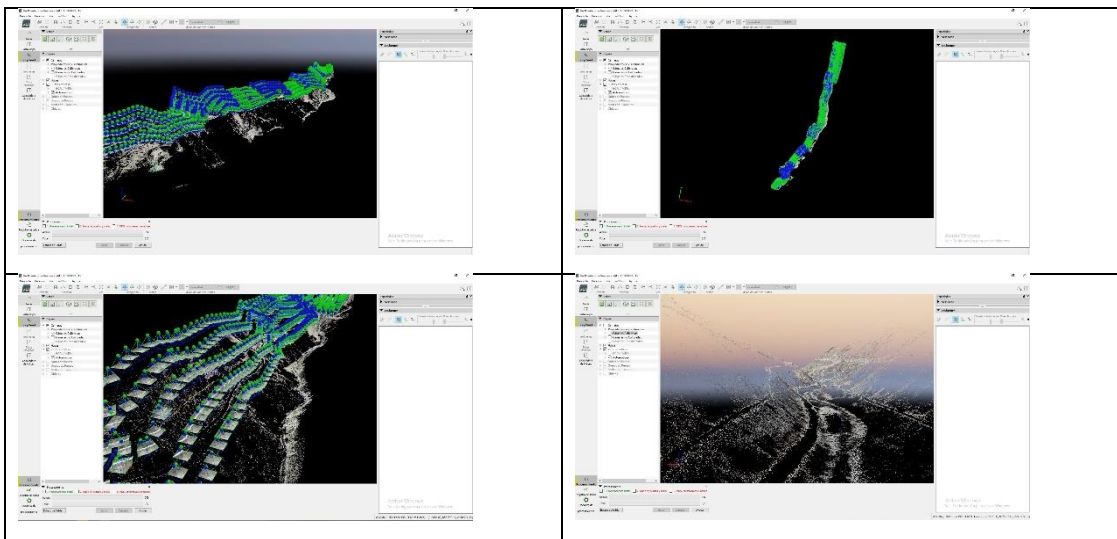


Figura 17: Imágenes representativas de la orientación interna

**Aero triangulación y orientación externa:**

En esta sub etapa se ingresa los puntos de fotocontrol y se realiza optimización de cámaras con el fotocontrol terrestre donde se densifica la nube de puntos y como penúltima sub etapa tenemos.

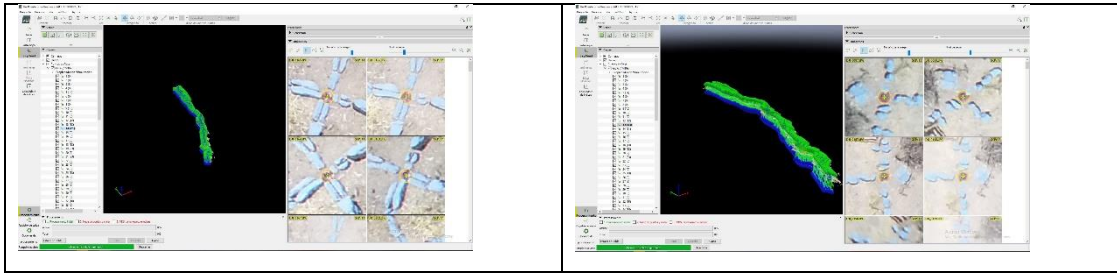


Figura 18: Imágenes representativas de la sub fase de orientación externa en el Software

### Exportación de productos cartográficos:

Consiste en generar el Modelo digital de elevación (MDE), las curvas de nivel y con ello puede obtener el perfil longitudinal del alineamiento que se quiera en este caso elegiremos el que mejor represente la huella izquierda y huella derecha de la faja de estudio y pasamos a la etapa final.

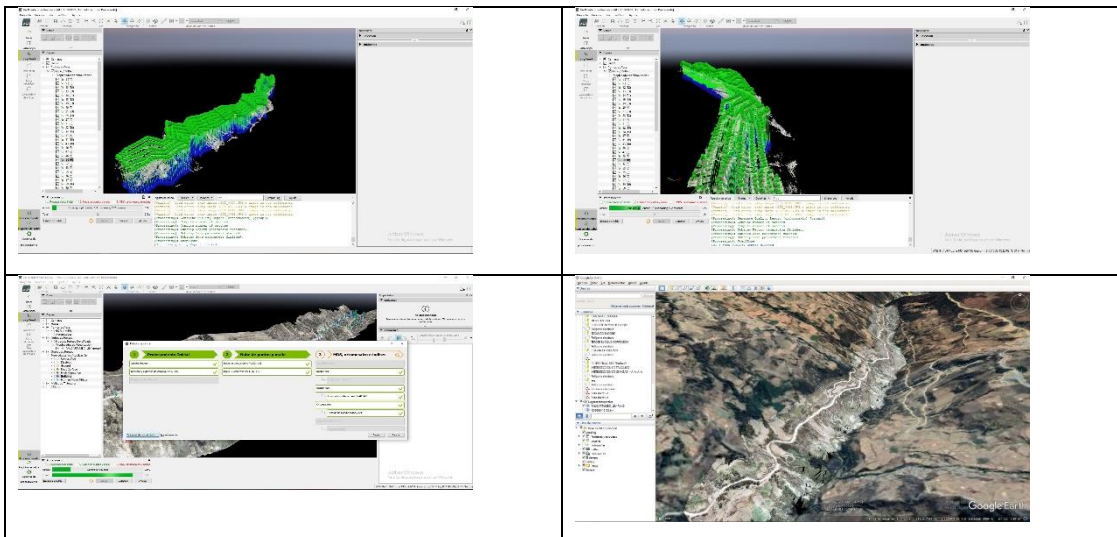


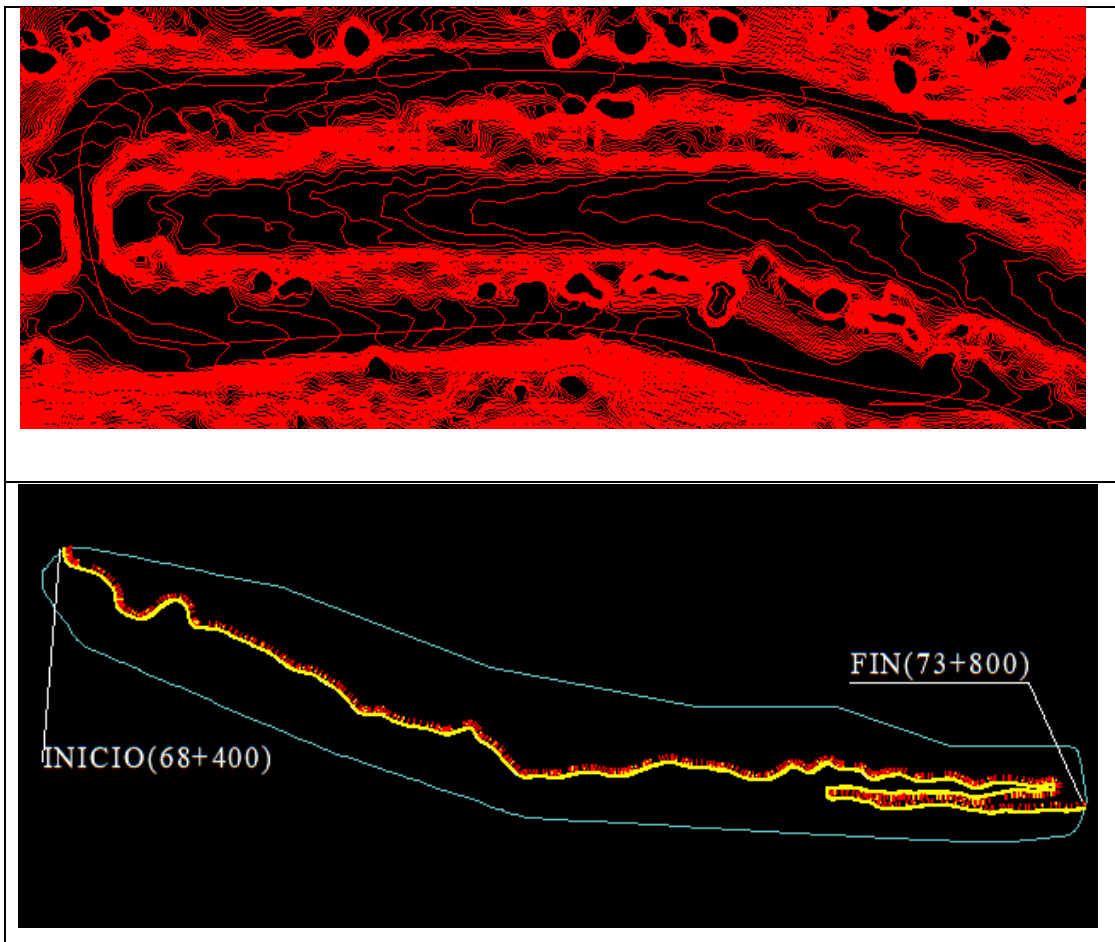
Figura 19: Generación del modelo digital de elevación

Fuente: Elaboración propia

### Cálculo de la Regularidad Superficial

En esta etapa se exporto del Software PIX4D Enterprise en formato .DXF las curvas de nivel cada 25cm al Software AutoCAD Civil 3D para generar el alineamiento en las huellas izquierda y derechas a efectos de general el perfil longitudinal de la variación elevación cada 25cm y finalmente exportar al Software ProVal para obtener el valor del IRI que es el indicador de la regularidad y comparar con los resultados obtenidos con el equipo de RTRRS de clase 1 como es el perfilometro laser





*Figura 20:* Exportación de curvas de nivel al Software C3D 2020 y Proval 3.61  
Fuente: Elaboración propia

En las figuras 22 y 23, se muestran los resultados de la determinación del IRI por ambos métodos, indicando que en la figura 22 se muestra el IRI obtenido utilizando VANTs y son el resultado del trabajo de campo como parte de la presente investigación. En cambio, en la figura 23 se muestra el obtenido utilizando perfilómetros y estos datos han sido proporcionados por el Ministerio de transportes y Comunicaciones, pero realizados en la misma y en el mismo tramo de dicha vía.

IRI CARRIL UNICO (km: 68+400 al 73+800)						
PROGRESIVA INICIAL (km)	PROGRESIVA FINAL (km)	SENTIDO	HUELLA IZQUIERDA (m/km)	HUELLA DERECHA (m/km)	IRI PROMEDIO CARRIL DERECHO (m/km)	SINGULARIDAD
68+400	68+600	DV. COLQUEPATA - PAUCARTAMBO	55.40	297.85	176.62	
68+600	68+800	DV. COLQUEPATA - PAUCARTAMBO	26.28	39.88	33.08	
68+800	69+000	DV. COLQUEPATA - PAUCARTAMBO	18.59	27.26	22.92	
69+000	69+200	DV. COLQUEPATA - PAUCARTAMBO	32.71	70.30	51.51	
69+200	69+400	DV. COLQUEPATA - PAUCARTAMBO	28.28	22.77	25.53	
69+400	69+600	DV. COLQUEPATA - PAUCARTAMBO	26.32	55.83	41.08	
69+600	69+800	DV. COLQUEPATA - PAUCARTAMBO	35.61	40.10	37.86	
69+800	70+000	DV. COLQUEPATA - PAUCARTAMBO	32.44	31.43	31.93	
70+000	70+200	DV. COLQUEPATA - PAUCARTAMBO	33.72	36.51	35.11	
70+200	70+400	DV. COLQUEPATA - PAUCARTAMBO	35.40	36.74	36.07	
70+400	70+600	DV. COLQUEPATA - PAUCARTAMBO	54.86	32.70	43.78	
70+600	70+800	DV. COLQUEPATA - PAUCARTAMBO	39.59	39.71	39.65	
70+800	71+000	DV. COLQUEPATA - PAUCARTAMBO	68.85	59.76	64.31	
71+000	71+200	DV. COLQUEPATA - PAUCARTAMBO	42.52	51.65	47.08	
71+200	71+400	DV. COLQUEPATA - PAUCARTAMBO	28.66	40.01	34.33	
71+400	71+600	DV. COLQUEPATA - PAUCARTAMBO	84.03	35.00	59.52	
71+600	71+800	DV. COLQUEPATA - PAUCARTAMBO	133.67	29.64	81.65	
71+800	72+000	DV. COLQUEPATA - PAUCARTAMBO	28.47	47.34	37.90	
72+000	72+200	DV. COLQUEPATA - PAUCARTAMBO	35.62	37.89	36.76	
72+200	72+400	DV. COLQUEPATA - PAUCARTAMBO	35.39	147.65	91.52	
72+400	72+600	DV. COLQUEPATA - PAUCARTAMBO	177.34	21.32	99.33	
72+600	72+800	DV. COLQUEPATA - PAUCARTAMBO	120.74	20.60	70.67	
72+800	73+000	DV. COLQUEPATA - PAUCARTAMBO	88.01	104.68	96.34	
73+000	73+200	DV. COLQUEPATA - PAUCARTAMBO	22.35	37.61	29.98	
73+200	73+400	DV. COLQUEPATA - PAUCARTAMBO	280.70	59.93	170.31	
73+400	73+600	DV. COLQUEPATA - PAUCARTAMBO	19.65	22.30	20.98	
73+600	73+800	DV. COLQUEPATA - PAUCARTAMBO	39.14	42.64	40.89	
<b>Máximo</b>					<b>176.62</b>	
<b>Mínimo</b>					<b>20.98</b>	
<b>Promedio</b>					<b>60.49</b>	

Figura 21: Valores de IRI obtenidos por medio del VANT.

Fuente: Elaboración propia

### Precisión obtenida del IRI / Método Directo (RTRRMS/Perfilometro laser)

Por otra parte, en la tabla 2 se muestran los resultados obtenidos con el PERFILOMETRO LASER obtenidos por el CONSORCIO CCECC PERU, los mismos que cuenta con recomendación de la firma supervisora y aceptación de la entidad.

Tabla 4. Determinación de IRI, mediante Perfilómetros



		VALORES OBTENIDOS DE IRI (Km: 68+400 al Km: 73+800)				
Tipo de pavimento: <u>Afirmado</u>					Fecha de ensayo <u>Julio del 2020</u>	
Tipo de superficie: <u>Afirmado</u>						
IRI CARRIL UNICO						
PROGRESIVA INICIAL (km)	PROGRESIVA FINAL (km)	SENTIDO	HUELLA IZQUIERDA (m/km)	HUELLA DERECHA (m/km)	IRI PROMEDIO CARRIL DERECHO (m/km)	SINGULARIDAD
68+400	68+600	DV. COLQUEPATA - PAUCARTAMBO	6.60	6.06	6.33	
68+600	68+800	DV. COLQUEPATA - PAUCARTAMBO	6.33	5.91	6.12	
68+800	69+000	DV. COLQUEPATA - PAUCARTAMBO	7.45	7.09	7.27	
69+000	69+200	DV. COLQUEPATA - PAUCARTAMBO	4.66	5.38	5.02	
69+200	69+400	DV. COLQUEPATA - PAUCARTAMBO	3.41	5.79	4.60	
69+400	69+600	DV. COLQUEPATA - PAUCARTAMBO	5.02	5.62	5.32	
69+600	69+800	DV. COLQUEPATA - PAUCARTAMBO	6.66	6.16	6.41	
69+800	70+000	DV. COLQUEPATA - PAUCARTAMBO	4.72	5.68	5.20	
70+000	70+200	DV. COLQUEPATA - PAUCARTAMBO	4.88	5.69	5.28	
70+200	70+400	DV. COLQUEPATA - PAUCARTAMBO	3.95	4.24	4.10	
70+400	70+600	DV. COLQUEPATA - PAUCARTAMBO	5.97	6.91	6.44	
70+600	70+800	DV. COLQUEPATA - PAUCARTAMBO	6.35	7.08	6.72	
70+800	71+000	DV. COLQUEPATA - PAUCARTAMBO	6.32	5.82	6.07	
71+000	71+200	DV. COLQUEPATA - PAUCARTAMBO	5.64	5.14	5.39	
71+200	71+400	DV. COLQUEPATA - PAUCARTAMBO	6.68	6.44	6.56	
71+400	71+600	DV. COLQUEPATA - PAUCARTAMBO	9.71	8.19	8.95	
71+600	71+800	DV. COLQUEPATA - PAUCARTAMBO	15.97	12.43	14.20	
71+800	72+000	DV. COLQUEPATA - PAUCARTAMBO	8.86	6.16	7.51	
72+000	72+200	DV. COLQUEPATA - PAUCARTAMBO	9.86	8.42	9.14	
72+200	72+400	DV. COLQUEPATA - PAUCARTAMBO	6.64	9.22	7.93	
72+400	72+600	DV. COLQUEPATA - PAUCARTAMBO	5.82	12.75	9.28	
72+600	72+800	DV. COLQUEPATA - PAUCARTAMBO	7.30	10.91	9.10	
72+800	73+000	DV. COLQUEPATA - PAUCARTAMBO	5.18	8.13	6.65	
73+000	73+200	DV. COLQUEPATA - PAUCARTAMBO	6.24	7.49	6.87	
73+200	73+400	DV. COLQUEPATA - PAUCARTAMBO	4.65	8.29	6.47	
73+400	73+600	DV. COLQUEPATA - PAUCARTAMBO	5.34	10.06	7.70	
73+600	73+800	DV. COLQUEPATA - PAUCARTAMBO	3.89	7.23	5.56	
<b>Máximo</b>					<b>17.46</b>	
<b>Mínimo</b>					<b>3.67</b>	
<b>Promedio</b>					<b>7.14</b>	

Figura 22: Valores de IRI obtenidos por el Consorcio CCECC PERU

Fuente: Informe de evaluación Funcional / Consorcio CCECC – PERU (pag.250)

#### 4.1.4. Determinación de estadísticos

Se muestra la determinación de los estadísticos a partir de los datos de campo para determinar el IRI. La base de datos lo constituyen los resultados de campo de los dos métodos empleados para la determinación del IRI, es decir, la determinación mediante perfilómetros y mediante VANTs. En este caso los resultados de la determinación mediante perfilómetro, constituyen los datos de referencia, por tratarse de un método convencional con resultados comprobados. Los datos obtenidos mediante VANTs, son el resultado del trabajo de campo de la presente investigación, y los datos de referencia han sido proporcionados por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, pero ambos en la misma vía y en el mismo tramo, y tan solo con dos meses de diferencia en cuanto a la toma de datos.

En la tabla 24 y a partir de las figuras 22 y 23 se muestra el IRI promedio de ambos métodos.

Tabla 9.

Valores del IRI determinado mediante VANT y perfilómetro Laser.

SUB-TRAMO	RSP*	VANT
68+400 al 68+600	6.3291	176.6208
68+600 al 68+800	6.1208	33.08
68+800 al 69+000	7.2683	22.9237
69+000 al 69+200	5.0218	51.5062
69+200 al 69+400	4.5993	25.5286
69+400 al 69+600	5.3216	41.0757
69+600 al 69+800	6.4113	37.8564
69+800 al 70+000	5.1963	31.935
70+000 al 70+200	5.2835	35.1146
70+200 al 70+400	4.096	36.072
70+400 al 70+600	6.4395	43.7832
70+600 al 70+800	6.7163	39.6518
70+800 al 71+000	6.0698	64.3055
71+000 al 71+200	5.3903	47.0827
71+200 al 71+400	6.5595	34.3329
71+400 al 71+600	8.9505	59.5159
71+600 al 71+800	14.199	81.6549
71+800 al 72+000	7.51	37.9046
72+000 al 72+200	9.1378	36.7556
72+200 al 72+400	7.9288	91.5205
72+400 al 72+600	9.283	99.3282
72+600 al 72+800	9.1033	70.674
72+800 al 73+000	6.6543	96.3434
73+000 al 73+200	6.8678	29.9822
73+200 al 73+400	6.4735	170.3147
73+400 al 73+600	7.702	20.9782
73+600 al 73+800	5.5593	40.8907

\*: Road Surface Profilometer / Perfilómetro de superficie de carretera (Manual de inventarios viales pag. 115)

Se ha determinado, los siguientes estadísticos:

- ✓ Mediana
- ✓ Mediana
- ✓ Desviación Estándar y Coeficiente de variación
- ✓ Curtosis.

En el siguiente cuadro se muestra el resultado de los principales estadísticos determinados

**Tabla 10.**  
**Determinación de estadísticos**

	PERFILOMETRO.	VANT.
MEDIA	6.896	57.657
MEDIANA	6.474	40.891
DESV. ESTAND.	2.024	39.996
COEF. VARIAC.	0.293	0.694
CURTOSIS	5.516	3.733

## 4.2. Análisis de resultados

### 4.2.1. Análisis de Resultados del Tiempo

#### Tiempo de medición del IRI / Método directo (RTRRMS/Perfilómetro laser):

Para determinar el tiempo de procesamiento se tomó como referencia como punto de partida la ciudad de Lima, esto debido a que no se cuenta con consultoras que realicen trabajos de evaluación funcional en ciudades más próximas al proyecto con equipos RTRRMS por ello el análisis de tiempo se realiza como se detalla en la Tabla 11.

Tabla 11:

*Análisis de cálculo de tiempo obtención de regularidad superficial/ Perfilómetro*

Nº	Descripción	Tiempo (días)	Observaciones
<b>1</b>	<b>Transporte de equipo</b>		
1.1	Lima- Cusco	2	*
1.2	Cusco-Paucartambo	0.5	*
<b>2</b>	<b>Trabajo de Auscultación</b>		
2.1	Medición de regularidad / Campo	0.5	**
2.2	Procesamiento de Datos /gabinete	2	***
<b>Total</b>		<b>5 días</b>	

\* Desplazamiento del Vehículo del lugar de origen al lugar donde se realizará la medición de regularidad.

\*\* El Vehículo se desplaza a una velocidad de 20 a 30km/h , efectuando la medición, esto debido a condiciones de la vía con superficie afirmada que se caracteriza por tener baches considerables, presencia de fragmentos de piedra y los charcos de agua existentes podrían generar daños a los sensores que se encuentran en los vehículos de auscultación.

\*\*\* De las Cotizaciones emitidas / Consulta a los especialistas

**Tiempo de medición del IRI / Método Indirecto (Fotogramétrico /VANTs):**

Para el caso de medición del IRI con este método alternativo, se consideró como punto de partida la ciudad del cusco, dado que en esta ciudad se cuenta con firmas consultoras que brindan el servicio de levantamientos topográficos con VANT(Drones)

Tabla 12:

*Análisis de cálculo de tiempo obtención de regularidad superficial / VANT*

Nº	Descripción	Tiempo (días)	Observaciones
<b>1</b>	<b>Transporte de equipo</b>		
1.1	Cusco-Paucartambo	0.5	*
<b>2</b>	<b>Trabajo de Auscultación</b>		
2.1	Medición de regularidad / Campo	0.5	**
2.2	Procesamiento de Datos /gabinete	4	***
	<b>Total</b>	<b>5 días</b>	

\* Para el presente trabajo el equipo se movilizó de la ciudad del Cusco

\*\* El trabajo de campo que lo detallado en el numeral 4.1.2. Trabajo de Campo

\*\*\* la restitución fotográfica para convertir a un mosaico el Software es el que más tiempo tarda

#### 4.2.2. Análisis de Resultados del Costo

##### **Costo estimado (km/carril) IRI / Método directo (RTRRMS/Perfilómetro laser)**

Para este sub etapa se procedió a realizar un estudio de mercado el cual consistió en solicitar cotizaciones a firmas consultoras especializadas en evaluación de pavimentos teniendo como resultado lo detallado en la tabla 10

##### **Costo estimado (km/carril) de medición del IRI / Método Directo (RTRRS)**

Tabla 13:

*Resumen cotización costo (km/carril) IRI con equipos de Clase I (RTRRS)*

N°	Descripción	Unidad	Costo Unitario	Firma Consultora	Observaciones
1	Evaluación funcional / Equipo Clase I	Km/carril	S/107.49	HOB Consultores	Se cotizo para un tramo de 270km
2	Evaluación funcional / Equipo Clase I	Km/carril	S/640.89	JUCARIMU Consultores y Contratistas SAC	Se cotizo para un tramo de 68.280km

Fuente: Elaboración Propia / estudio de mercado

##### **Costo realizado (km/carril) IRI / Método Indirecto (Fotogrametría / VANT)**

El análisis de costo que se realizado a los 5.4km (progresiva 68+400 al 73+800) de longitud en el tramo Colquepata-Paucartambo de la Vía departamental CU-112 para determinar la regularidad se detalla en la tabla 11.

Tabla 14:

*Estructura de costos para la obtención y procesamiento de datos / VANT*

<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unitario</b>	<b>Parcial</b>
<b>1. Personal</b>				
1.1 Operador VANT	Día	1	150	S/. 150.00
1.2 Asistente de Campo	Día	3	100	S/. 300.00
1.3 Técnico / Procesamiento datos	Día	1	150	S/. 150.00
<b>2. Equipos</b>				
2.1. Alquiler de equipo/ VANT	Día	1	300	S/. 300.00
2.2. Alquiler Camioneta (Maq. Servida)	Día	1	450	S/. 500.00
2.3. Viáticos Personal	Plato/Día	15	8	S/. 120.00
2.4 Hospedaje Personal	Hab./Día	5	25	S/. 125.00
<b>3. Materiales</b>				
3.1. Pintura	Lts	0.5	15	S/. 7.50
3.2. Cal(yeso)	kg	10	1.5	S/. 15.00
<b>4. EPP /COVID-19.</b>				
3.1 Prueba Rapida	und	4	80	S/. 320.00
3.2 Mascarilla Quirurgical	und	4	5	S/. 20.00
3.2 Careta facial	und	4	15	S/. 60.00
3.3 Alcohol en gel x 360 mL	und	1	15	S/. 15.00
*****				
Sub Total				S/. 2,082.50
Imprevistos (5 % ST)				S/. 104.13
*****				
Costo Total (5.4km)				S/. 2,186.63
Costo (km/carril)				S/. 404.93

Fuente: Elaboración Propia

De las tablas 7 y 9 se puede apreciar la gran diferencia de costos entre los dos métodos, siendo mucho más económico el efectuado con VANT notándose también la diferencia en cuanto a las unidades de costo de alquiler de equipo; mientras que los perfilómetros lo alquilan por km/carril, los VANTs lo alquilan por día. Es de hacer notar también que los costos de los perfilómetros se han tomado para un tramo como el que se ha trabajado en la investigación, es decir, 270 km, pero si el tramo es más corto, los costos por km, son más elevados, llegando a costar hasta S/ .640.00, el km, si el tramo fuera de 20 km

**4.2.3. Análisis de los indicadores de precisión**



En la siguiente tabla se muestra un comparativo de los indicadores de precisión, costo y tiempo, respecto al método convencional con RTRRMS y el uso de VANT's

Tabla 15:

*Comparación de resultados obtenidos en la investigación*

Descripción	Perfilómetro Laser (RTRRMS)	VANT (Fotogrametría digital)
Precisión (m/km)	aproximación al mm (Desv. Vertical/ Alin. )	Aproximación al cm (Desv. vertical / Alin.)
Costo (km/carril)	S/640.89	S/404.93
Tiempo (Días)	5 días	5 días

Fuente: Elaboración propia

### **Análisis del nivel de precisión.**

A raíz de los resultados obtenidos realizaremos un análisis para explicar la diferencia respecto a variación excesiva en valores obtenidos del IRI entre los equipos empleados como el Perfilómetro Laser y el VANT para dicha medición razón por la cual se detalla el principio de recolección de datos de ambos instrumentos a efectos de entender la razón de la excesiva variación de resultados para obtener la regularidad superficial.

#### **Perfilómetro laser**

Son equipos de clase I, considerados de alto rendimiento que mide el perfil longitudinal de un alineamiento de la superficie de la carretera de manera continua a velocidades de operación normales de 20 a 80km/h, que están compuestos entre otros componentes por un acelerómetro, un rugosímetro y perfilómetro como se muestra en la figura 24

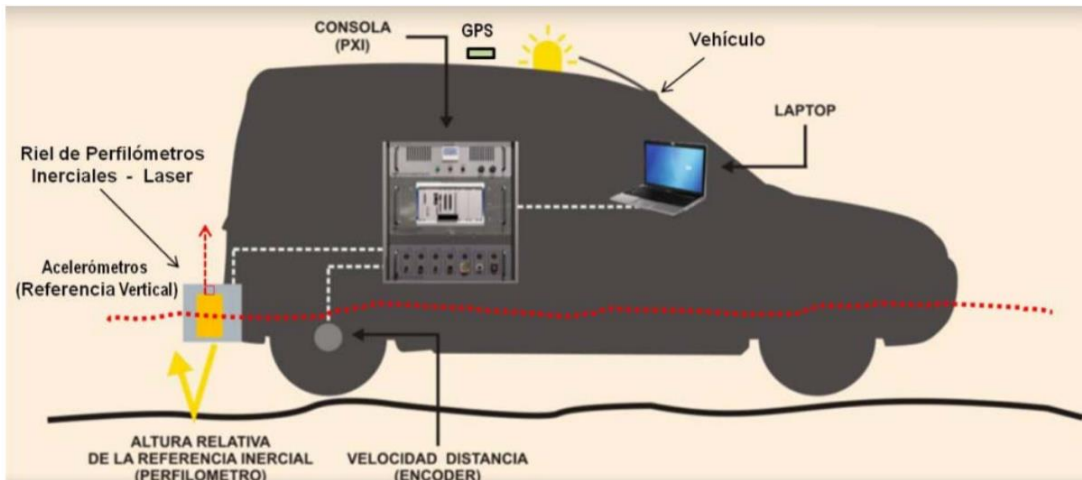


Figura 23: Esquema simplificado del Perfilómetro “CHASQUI” / Cortesía de HOB Conusltores,S.A.

Fuente: <https://www.hobconsultores.com/wp-content/uploads/2017/06/Chasqui-Espanol-Paper-F-Dic-20-2012.pdf>.

El principio de medición del perfilómetro láser es como se ilustra en la figura 25, donde el equipo lanza un haz de luz sobre la plano horizontal el cual rebota y es captado por un segundo lente permitiéndose la obtener la altura por medio de triangulación de láser , precisar que estas lecturas se realizan cada 25mm , con la cual evidencia su categorización como equipo de clase 1 , asimismo esta lectura se puede efectuar a una velocidad de operación de 20 a 80km/h, razón por la cual considerado de alto rendimiento.

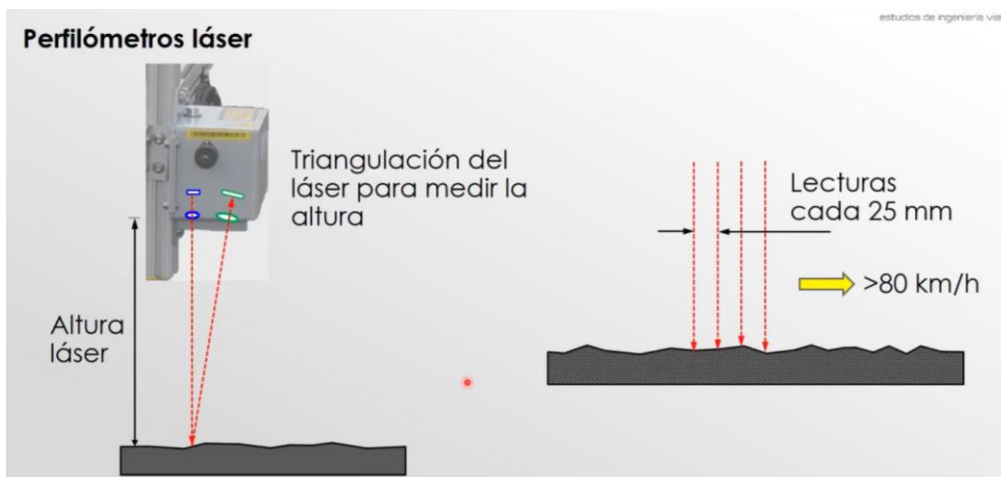
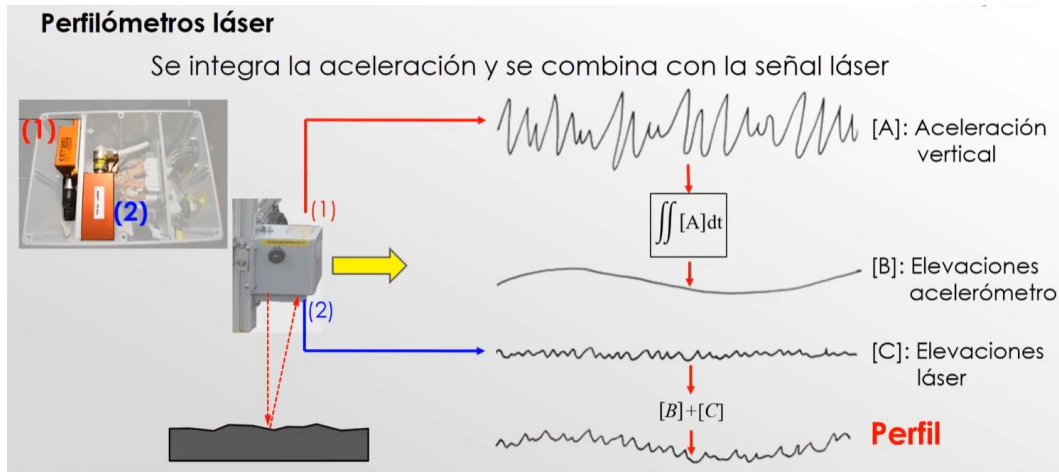


Figura 24: Principio de funcionamiento del perfilómetro laser

Fuente: mecanicista.com

Paralelo a ello un acelerómetro reconoce las aceleraciones verticales producidas en el vehículo como resultado de la irregularidad del camino ,seguidamente como parte de un trabajo de gabinete estas dos aceleraciones

son compuestas obteniéndose de esta manera las elevaciones registradas por medio del acelerómetro y finalmente este perfil del acelerómetro es combinado al perfil de elevación del laser detallado en la figura 26, teniéndose de esta manera el perfil longitudinal de la superficie evaluado para las longitudes de onda que nos interesan en la evaluación funcional



*Figura 25: Obtención del perfil longitudinal / acelerómetro +laser +distanciómetro*  
Fuente: mecanicista.com

De esta manera se obtiene valores de regularidad superficial con mediciones con aproximación vertical obtenidas menores o iguales a 0.1mm y con una frecuencia de recolección de datos menores a 25mm como se detalla en la figura 28.

<b>Clasificación de equipos de medición de rugosidad (ASTM E950)</b>	
<b>Frecuencia de recolección de datos</b>	
<b>Clase 1</b>	Menor o igual a 25 mm
<b>Clase 2</b>	Mayor a 25 mm y hasta 150 mm
<b>Clase 3</b>	Mayor a 150 mm y hasta 300 mm
<b>Clase 4</b>	Mayor a 300 mm
<b>Resolución vertical</b>	
<b>Clase 1</b>	Menor o igual a 0.1 mm
<b>Clase 2</b>	Mayor a 0.1 mm y hasta 0.2 mm
<b>Clase 3</b>	Mayor a 0.2 mm y hasta 0.5 mm
<b>Clase 4</b>	Mayor a 0.5 mm

Figura 26: Frecuencia de recolección y resolución vertical de los equipos de diferentes clases

Fuente: mecanicista.com

### **Vehículos Aéreos no Tripulados (VANT's)**

Son aeronaves que pueden ser operados desde una estación remota o pueden ser programados para un vuelo automatico y existen diferentes tipos de VANT's de la cuales se clasifican en dos por el tipo de Ala como se detalla en la tabla 10.

Tabla 16:

*Tipos de VANT's*

Ala Fija	Ala rotatoria (Multirotor)
Por la forma geométrica tienen mayor autonomía y pueden registrar mayores áreas de extensión	Pueden volar en tres ejes, pueden mantener un vuelo estacionario y algunos de ellos pueden llevar carga de pago(sensores/otros)

En la siguiente figura se aprecia con mayor detalla la geometría de los mismos

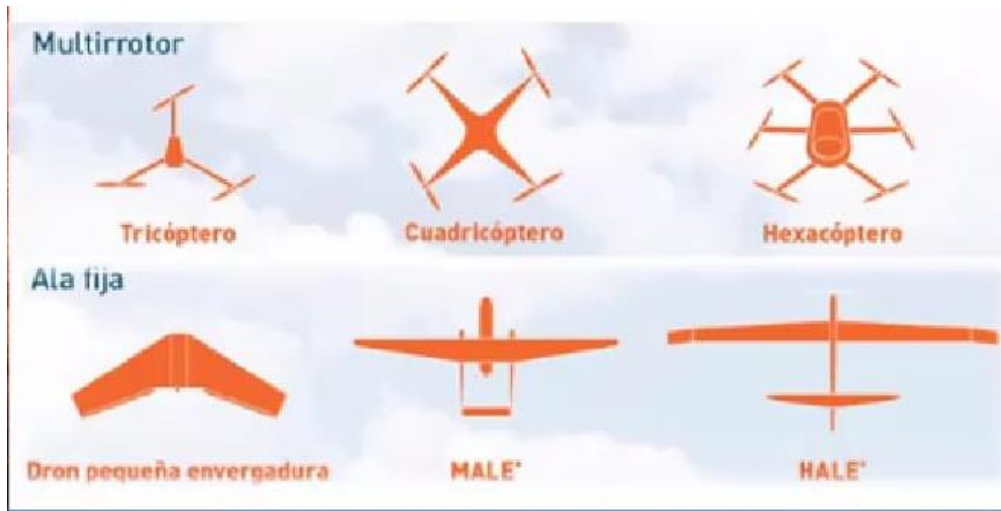


Figura 27: Tipos de VANT's por el tipo de Ala

Importante precisar que estos equipos adicionales a la autonomía de vuelo están compuestos por sensores y en la actualidad hay una infinidad de sensores y los que se utilizan con mayor frecuencia son los que se detalla en la figura 30.

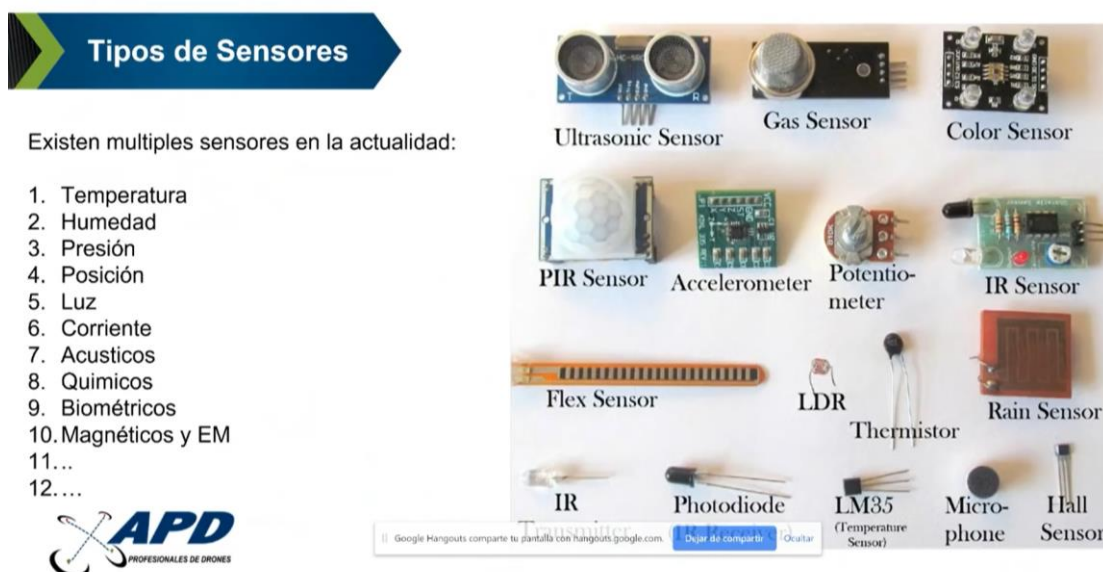


Figura 28: Tipos de Sensores mas utilizados

Fuente: adaptado de: <https://www.youtube.com/watch?v=0MvDzvGo0Kc>

De ellos los sensores utilizados en los VANT (DRONES/RPAS) son los que muestran en la tabla 14.

Tabla 17:

*Tipos de sensores en VANT's*

Nº	Sensores	Parametros
1	Posicion	Acelerometros Gyroscopio
2	Meteorológicos	Presion Atmosfera
3	Luz o Electromagneticos	<u><b>Camaras</b></u> Fotoseldas Infrarrojos Radio frecuencia
4	Acústicos y magnéticos	Ultrasonido Compas Microfonos

Fuente: adaptado de: <https://www.youtube.com/watch?v=0MvDzvGo0Kc>.

De los cuales los sensores de luz o magnéticos son llevados en una carga de pago pudiendo esto ser **cámaras** y otros de acuerdo a la necesidad del trabajo a realizar







*Figura 29: Componentes de un VANT's / Ala rotatoria*

Fuente: Adaptado / Capacitación Virtual CIIVIAL (junio 2020)

En la Tabla 15, se detalla 4 tipos de sensores / cámara que pueden adaptar a un VANT's dependiendo de la necesidad que se requiere.

Tabla 18:

*Tipos de sensores de Luz que se pueden adaptar a los VANT's*

N°	sensores de luz o electromagnéticos	Especificaciones	Imagen referencial
1	Cámaras RGB	Estas permiten obtener información dentro del espectro visible a partir de la composición de tres colores(rojo/verde/azul)	
2	Cámaras Espectrales	Son radiaciones que captan lo que el ojo humano no puede ver , es capaz de captar varios espectros de luz	
3	Cámaras Térmicas	Son utilizadas para agricultura porque son capaces de detectar de estrés hidrico, calor,etc	
4	LIDAR	son las siglas de Laser Imaging Detection and Ranging, Traducico significa sistema de medición y detección de objetos mediante láser.	

Fuente: elaboración propia

Para el presenta trabajo de investigación se utilizó un VANT's que contaba con sensores de luz tipo Cámara RGB y sensores de posicionamiento y orientación(antera receptora) que reciben información de radio frecuencias de los 24 satélites que se encuentran en funcionamiento y son parte del Sistemas de Posicionamiento Global (GPS) que son calibrado con fotocontroles, colocados en los hitos georreferenciados en los ejes X, Y y Z, al momento de realizar la restitución fotogramétrica que finalizado el procesamiento de los datos se encontraron diferencias significativas en comparación con los resultados del Perfilómetro laser utilizado por el Consorcio CCECC PERU.

La precisión de un VANT es medida por un parámetro denominado GSD (Ground Sampling Distance), que significa DISTANCIA DE MUESTREO DEL SUELO, el cual es inversamente proporcional a la altura de vuelo, efecto

similar al ojo humano cuanto más cerca estemos a un objeto podemos ver con mayor claridad, la relación de tal fenómeno se detalla en la figura 32.

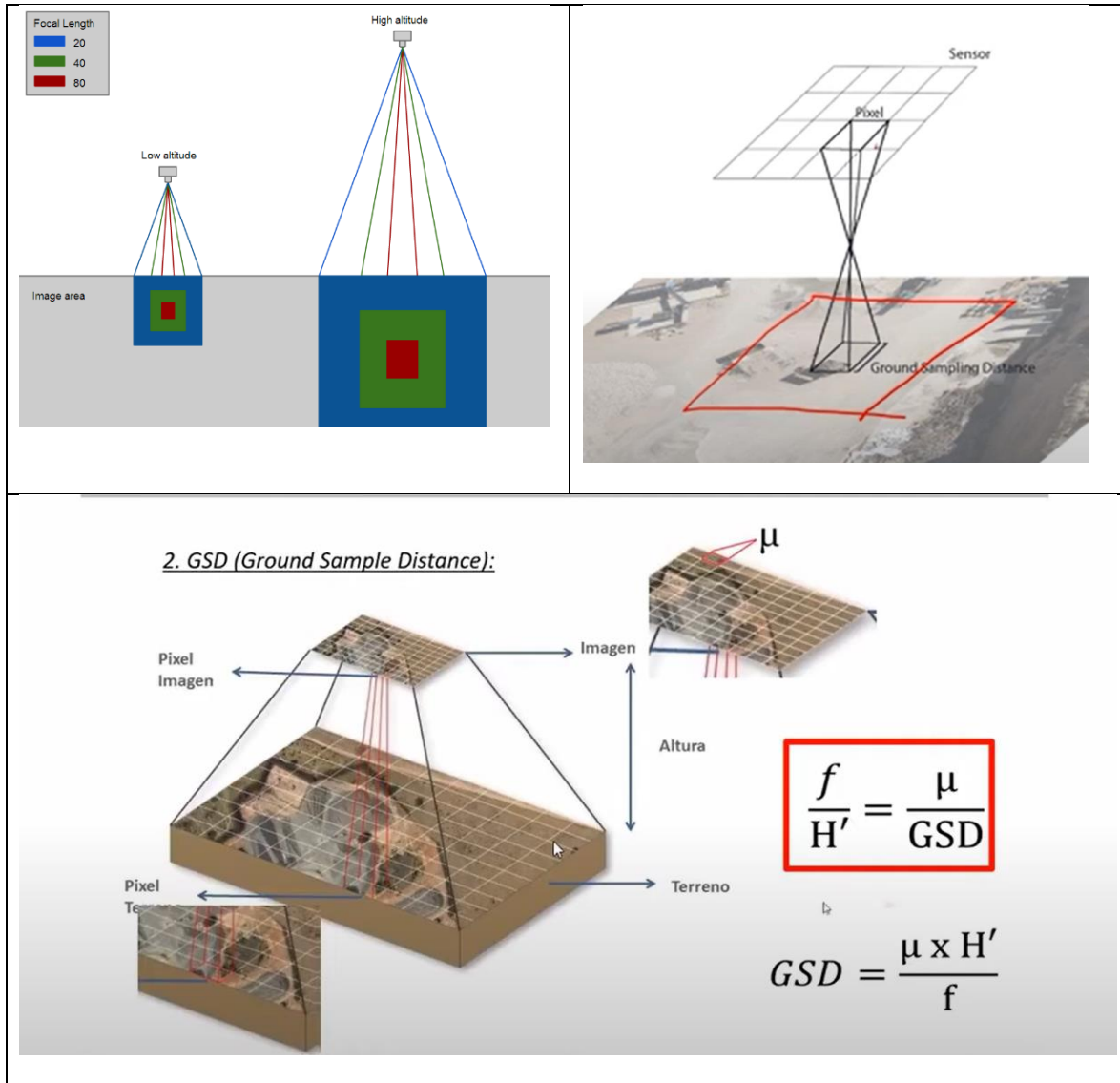


Figura 30 :Obtención del GSD

La precisión del VANT utilizado para la presente investigación fue con un GSD de 1.4 cm/pixel, teniendo como Altura del terreno con referencia al suelo 60m, Distancia focal 24mm y un sensor de 1micrometro, como se observa en la fórmula de la figura 32.

De lo antes expuesto debemos señalar que el uso de VANT 'S para fotogrametría digital con sensores de luz tipo cámaras RGB y sensores de posición y orientación alimentados por GPS basada en fotografías



georreferenciadas obtenidas a partir de un plan de vuelo muestra una precisión milimétrica en planimetría por la capacidad de que cuentan el sensor RGB para obtener la cantidad necesario de fotografías y posteriormente ser restituida a un mosaico , sin embargo la precisión respecto a la altimetría con aproximación en centímetros no es suficiente, esto debido a que los sensores de posición y orientación no cuentan con la tecnología suficiente para obtener a la precisión requerida en milimétrico en altitud que se necesita para obtener los perfiles longitudinales que representan la huella izquierda y derecha de un vehículo y finalmente obtener valores de índice de regularidad internacional (IRI), siendo necesario la utilización Sensores activos de tecnología LIDAR.

#### Descripción de la tecnología del Sistema LIDAR

Es un acrónimo que puede traducirse como un sistema de medición y detección de objetos mediante laser, son sensores que emiten rayos de luz en la cual estos rayos de luz se caracterizan por tocar un objeto y rebotar volviendo a la posición en la que se encuentra el sensor, calculando el tiempo que tarda el rayo láser en ir y volver de manera que pueden descifrar la distancia que hay entre el sensor activo y cualquier otro objeto, para eso es necesario contar con un emisor de rayos infrarrojo , una lente que coja los ases de luz cuando rebota y un Chip o sistema que procese todos esos datos hasta construir un mapa 3D de la escena que hay delante del sensor, para mejor entendimiento mostramos una la tabla

Tabla 19:  
*Comparación de sistema LIDAR y fotogrametría digital*

LIDAR	Fotogrametría Digital
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utiliza Sensores activos con los que se obtiene Datos LIDAR.</li> <li>• Estos sensores lanzan miles de pulsaciones y rebotan con los elementos antrópicos y naturales que hay en el</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Utiliza sensores pasivos con los que se obtiene Nube de puntos.</li> <li>• Estos sensores no emiten pulsaciones, solo registran fotografías toman la profundidad y generan</li> </ul>

- 
- espacio de tal manera que obtenemos forma y profundidad del objeto al cual fue dirigido
- Registra forma, profundidad y en consecuencia se obtiene dimensiones con esa información
  - Los datos se diferencian por colores y se distribuye de acuerdo a la profundidad, los de color rojo están más altos y lo de color azul son de la parte más baja como se aprecia en la figura 33., estos puntos azules servirán de apoyo como amarre en una interpolación es decir el MDT quedara mejor elaborado.
- Estos sensores no emiten pulsaciones solo toman ortofotografías que se obtiene nube de puntos que permite obtener un MDT que registrar forma y profundidad, esta última no con la precisión requerida para el estudio
- 

Fuente: <https://www.youtube.com/watch?v=-4PC3ld04dA&t=33s>

En la figura 31 se puede apreciar el nivel de detalle que registra los datos LIDAR en comparación con la nube de puntos con sensores RGB

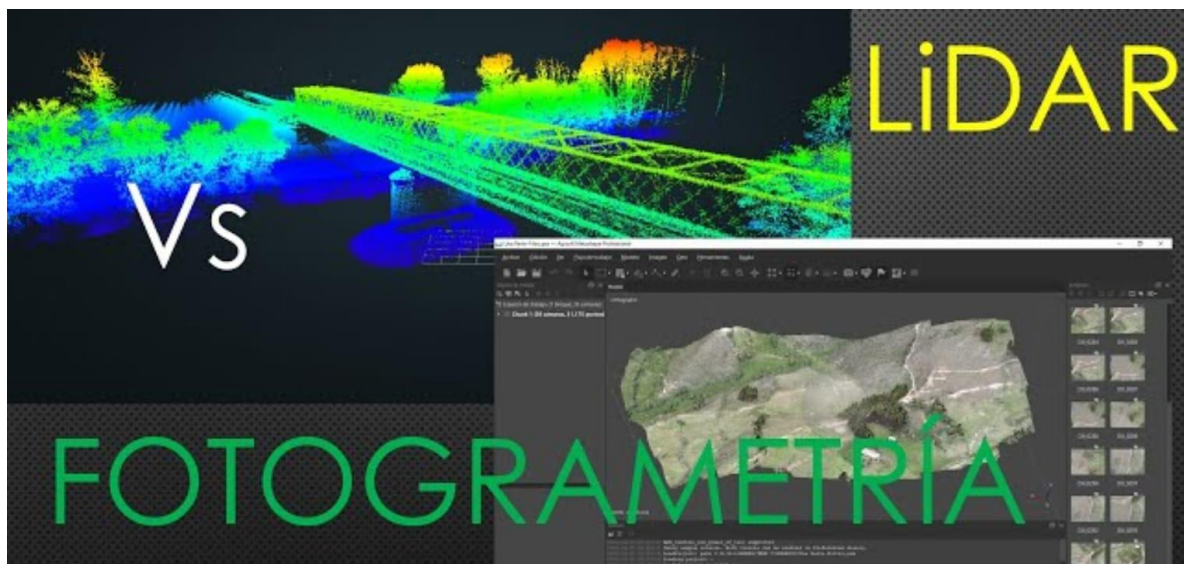


Figura 31: comparación datos LIDAR y Nube de puntos

#### 4.2.4. Análisis Estadístico de los resultados de la determinación del IRI.

**De la Tabla 26 se tiene**

	ESTADÍSTICOS	
	PERFILOMETRO.	VANT.
MEDIA	6.896	57.657
MEDIANA	6.474	40.891
DESV. ESTAND.	2.024	39.996
COEF. VARIAC.	0.293	0.694
CURTOSIS	5.516	3.733

**Media y mediana.** En ambos casos la media y la mediana tienen valores cercanos , indicándonos que existe buena concentración de datos

**Desviación estándar y Coeficiente de variación.**

En ambos casos, el resultado indica gran dispersión de datos en relación a la media.

**Curtosis.**

En ambos casos nos indica la tendencia de la concentración de datos al lado derecho

**4.2.5. Prueba de hipótesis.**

**Enunciado de las hipótesis**

**Específica 1.**

El uso de VANTs proporciona un mayor nivel de precisión cuando se determina la regularidad superficial del camino departamental CU-112, en comparación con los sistemas tradicionales RTRRMS

**Específica 2.**

El uso de VANTs impacta significativamente en el tiempo de demora para determinar la regularidad superficial del camino departamental CU-112, en comparación con los sistemas tradicionales RTRRMS

### **Específica 3.**

El uso de VANTs impacta significativamente en los costos para determinar la regularidad superficial del camino departamental CU-112, en comparación con los sistemas tradicionales RTRRMS

### **General:**

El uso de VANTs impacta significativamente en la eficiencia para determinar la regularidad superficial del camino departamental CU-112, en comparación con los sistemas tradicionales RTRRMS

## **Explicación de la Prueba de hipótesis.**

### **Específica 1.**

**Nivel de precisión** . De acuerdo a lo analizado en el punto 4.2.3, y lo mostrado en las tablas 12,13, 14 y15; y en las figuras 25, 26 y 27. Donde se analiza principalmente los sensores y el nivel de precisión de acuerdo a la altura para la toma de datos en relación al nivel de la vía, en todos los casos, los datos favorecen a los perfilómetros, indicándonos que tienen mayor nivel de precisión que los VANTs.

### **Específica 2.**

**Costos.** En las tablas 10 y 11 se puede apreciar que el costo (carril/km), es de S/ 640 .00 para el caso de los perfilómetros y de S/ 404.00 para los VANT, significando que el uso de estos últimos proporcionan un ahorro de casi 40% .

### **Específica 3.**

**Tiempo.** En este caso, las mismas tablas que en el caso de costos nos indican que en cualquiera de ellos el tiempo es el mismo, dado a que ambos tienen que trabajar a la misma velocidad.

## **General**

**Eficiencia.** Aun cuando el costo de usar VANTs es menor que el costo de usar perfilómetros, sin embargo en el caso del nivel de precisión ocurre lo contrario, y siendo el tiempo indiferente, no se puede concluir para el presente caso que uno de los métodos sea más eficiente que el otro.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

1. Usando RTRRS (perfilómetro láser), para la determinación del Índice de regularidad Internacional (IRI), se consigue mayor precisión en los datos obtenidos; en comparación a los obtenidos usando VANTS.
2. Usar VANTS en la determinación del Índice de regularidad Internacional (IRI), significa menor costo (S/ Km) que cuando se hace la misma determinación usando equipos RTRRS (perfilómetro láser).
3. El tiempo empleado en la determinación del Índice de Regularidad Internacional (IRI), es indiferente, cuando se usa equipo RTRRS (perfilómetro láser) o cuando se usa VANTS.

### Recomendaciones

1. Recomendar a instituciones, empresas privadas y/o tesisistas a realizar investigaciones para medir la regularidad superficial de pavimentos utilizando VANT's que cuenten con tecnología LIDAR debido a la tecnología láser con la cual cuenta porque permite obtener la precisión deseada en altitud para este tipo de trabajos
2. Recomendar a la Dirección general de caminos y ferrocarriles / normatividad vial del MTC modificar la denominación de la terminología de rugosidad por regularidad en la designación del indicador IRI en los manuales vigentes, considerando que, en el diccionario vial de la Asociación Mundial de la Carretera (PIARC), define los términos antes mencionados de acuerdo al detalle de la tabla 20.

Tabla 20:

*Definición de términos / Diccionario vial PIARC*

Términos	Definiciones
Rugosidad	Irregularidad producida por las dimensiones, la forma y la angulosidad de un árido
Regularidad	Indicador del grado de uniformidad de los intervalos reales de, por ejemplo, servicios de bus

Regularidad Superficial	Propiedad del estado funcional de un pavimento, relativa a las desviaciones verticales existentes en relación con el perfil de diseño
-------------------------	---

Índice de Regularidad Internacional (IRI)	Índice estandarizado que proporciona una escala común para medir la regularidad superficial
---	---

---

Fuente : <https://www.piarc.org/es/actividades/Diccionario-Vial-Terminologia-Transporte-Carretera/%3A%22>

De la tabla 20, el termino regularidad describe con mayor precisión el parámetro en estudio a comparación del término rugosidad que está más asociado a una propiedad de algún material en particular.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, A. (2019.01.16).** *El uso de drones en la ingeniería.* RPP Noticias. Recuperado de <https://rpp.pe/columnistas/alexandrealmeida/el-uso-de-drones-en-la-ingenieria-noticia-1175069>
- Alvarado, L. y Agurto, M. (2012).** Estadística. Edit. San Marcos. Lima- Perú.
- Andrade, S. (2012).** Diccionario de Economía. Edit. Librería Andrade. Lima Perú.
- Angarita, L. y Sánchez, J. (2017).** *Comparación del índice de rugosidad internacional (IRI) a partir de información obtenida por métodos fotogramétricos.* Tesis - Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Bogotá. Colombia. Recuperado de: <https://www.astm.org/Standards/E867.htm>
- Arriaga, M. Garnica, P. Rodríguez, A. (1998)** *Índice internacional de rugosidad en la red carretera de México.* Instituto mexicano del transporte secretaría de comunicaciones y transportes. Publicación Técnica N° 108. Méjico. Recuperado de [http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/nchrp/nchrp\\_rpt\\_228.pdf](http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/nchrp/nchrp_rpt_228.pdf)
- Ascencios, D (2016).** *Medición y comparación de la rugosidad en pavimentos de la ciudad de Huánuco; mediante Smartphone y un método tradicional.* Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil. Perú. Recuperado de
- ASTM E867 - 06 . Standard Terminology Relating to Vehicle-Pavement Systems»
- Badilla, G. (2010)** Aspectos y consideraciones importantes en el cálculo del Índice de Regularidad Internacional (IRI) Revista Ingeniería.En-Dic-2010. Volumen 20 – números 1 y 2. Edit.ACR. Costa Rica. Recuperado de:
- Bayona, F. (2007)** *Vehículos Aéreos no Tripulados (UAVs) en exploración minera - estudio de casos de levantamiento Aero magnético y Lidar.* Instituto de Ingeniería de Minas del Perú. Perú. Recuperado de:
- Caro, f y Peña, G (2012)** *Análisis y criterios para el cálculo del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) en vías urbanas colombianas que orienten la elaboración de una especificación técnica.* Revista Intekhnia (Volumen 7 N° 1). Colombia. Recuperado de <https://revistas.usantotomas.edu.co/index.php/intekhnia/article/viewFile/461/749>
- Chevarría, J (2019)** *Correlación entre el índice de regularidad internacional y el índice del inventario de condición del ministerio de transportes y comunicaciones.* Tesis para optar el título profesional de ingeniero civil. Universidad San Martín d Porras. Perú.



Recuperado

de

<http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/1681/Chevarría.pdf>.

**Cruz, J y Gutiérrez, J (2019).** *Evaluación superficial de vías urbanas empleando vehículo aéreo no tripulado (VANT)*. Universidad Nacional de Ingeniería, Perú, recuperado de:

<http://ri.ues.edu.sv/4385/1/Determinaci%C3%B3n%20del%20indice%20de%20rugosidad%20internacional%20de%20pavimentos%20usando%20el%20perfilometro%20ROMDAS%20Z-250.pdf>.

**Del Sabio, A. (16 de enero del 2019).** *El uso de drones en la ingeniería*. RPP Noticias. Recuperado de <https://rpp.pe/columnistas/alexandrealmeida/el-uso-de-drones-en-la-ingenieria-noticia-1175069>

**Garrido, R. (2015).** *Índice de rugosidad Internacional*. Subdepartamento de Auscultaciones y Prospecciones Laboratorio Nacional de Vialidad. Chile. Recuperado de: <https://www.google.com/search?ei=jYDHXazgC8va5gKriJjQCw&q=silicon+valley.+Uso+de+drones>.

**Gillespie, T et al ,(1980)** CALIBRATION OF RESPONSE-TYPE ROAD ROUGHNESS MEASURING SYSTEMS. NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM REPORT 228. WASHINGTON DC. USA.

**González, A. (2009)** Propuesta de Instrumentos de Medición de Niveles de Serviciabilidad de Carreteras Asfaltadas: Un Aporte de Innovación Tecnológica al Mantenimiento de Obras de infraestructura vial. Tesis Universidad Nacional de Ingeniería –Perú. Recuperado de:

[HEMAB. Revista del FONDO EUROPEO DE DESARROLLO REGIONAL, con apoyo de la UNION EUROPEA \(2019\).](#) Recuperado de

<http://www.proexplo.com.pe/2019/docs/programa/L12.pdf>

<http://www.vialidad.cl/areasdevialidad/laboratorionacional/MaterialCursos/Introducci%C3%B3n%20IRI%202015.pdf>

<https://www.google.com/search?ei=wYvHXfrrD6Lb5gLDz7rQDA&q=Taca%20de%20drones>

[https://www.google.com/search?source=hp&ei=jxwqXsH\\_LY-75OUP1eWG4A4&q=Ascencios%20de%20drones](https://www.google.com/search?source=hp&ei=jxwqXsH_LY-75OUP1eWG4A4&q=Ascencios%20de%20drones).

- <https://www.google.com/search?source=hp&ei=kmApXqDqII2-5OUPsNyLwAs&q=Evaluaci%C3%B3n+superficial+de+v%C3%ADas+urbanas+empleando+veh%C3%ADculo+a%C3%A9reo+no+tripulado+%>
- <https://www.imt.mx/archivos/Publicaciones/PublicacionTecnica/pt108.pdf>
- [https://www.infodefensa.com/wp-content/uploads/Vehiculos\\_aereos\\_no\\_tripulados\\_en\\_Latam.pdf](https://www.infodefensa.com/wp-content/uploads/Vehiculos_aereos_no_tripulados_en_Latam.pdf)
- <https://www.redalyc.org/pdf/447/44723363016.pdf><https://www.redalyc.org/pdf/447/447233>
- LLuncor, J (2012)** *Aplicación del modelo HDM en la evaluación de proyectos de carreteras en Perú: “carretera Bagua chica – flor de la esperanza”* Tesis Universidad Ricardo Palma Perú. Recuperado de: <http://personasperu.com/lluncor-izasiga-pool-antonio-1040558693>.
- Mendoza, D. (2014).** *Evaluación Del Modelo “Quarter car” Para la Estimación del Índice de Rugosidad Internacional (IRI) Del Tramo Huancavelica - Santa Inés.* Tesis Pregrado. Universidad Nacional del Altiplano. Puno Perú. Recuperado de [http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/1681/Almanza\\_Mendoza\\_Diego\\_Arthur.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/1681/Almanza_Mendoza_Diego_Arthur.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Montoya, J. (2013)** *Aanálisis del IRI para un Proyecto de Carretera Sinuosa Concesionada en el Perú.* Tesis de Master en Ingeniería Civil con Mención en Ingeniería Vial. Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Lima, Perú. Recuperado de [https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1967/MAS\\_ICIV-L\\_023.pdf](https://pirhua.udep.edu.pe/bitstream/handle/11042/1967/MAS_ICIV-L_023.pdf)
- MTC (2014)** *Manual de Inventarios Viales (RD N° 09-2014-MTC/14 incorporación parte IV RD N° 022-2015-MTC/14) .* Lima, Perú .Dirección General de Caminos y Ferrocarriles.
- Onofre, J. Sánchez, J. y Santiago, W. (2008)** *Determinación del índice de rugosidad internacional de pavimentos usando el perfilometro romdas z-250.* Tesis Universidad de El Salvador. El Salvador. Recuperado de:
- Pradena,M. (2006)** *Análisis de Regularidad Superficial en Caminos Pavimentados* Revista de la Construcción, vol. 5, núm. 2, diciembre, 2006, pp. 16-22 Pontificia Universidad Católica de Chile Santiago, Chile. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/1276/127619380002.pdf>
- Ramírez, B. S. (2017)** *Cálculo del IRI mediante Acelerómetro de Smartphone en el Tramo Huarmey – Casma de la Carretera Panamericana Norte.* Tesis pregrado Pontificia Universidad Católica del Perú. Recuperado de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/9714>

- Ramos, H. (2018)** Estudio del Índice de Regularidad Internacional en Vías pavimentadas Mediante el uso del Perfilómetro Láser Rondas”. Tesis para obtener el título de ingeniero civil. Pontificia Universidad Católica Del Perú. Perú. Recuperado de [https://www.google.com/search?source=hp&ei=p4rNXaSHIozl5gKA2J\\_wAw&q=Ramos%](https://www.google.com/search?source=hp&ei=p4rNXaSHIozl5gKA2J_wAw&q=Ramos%20)
- Sachun, J (2016)** *Estudio del índice de rugosidad internacional de la panamericana norte - zona Trujillo, para su mantenimiento*”. Tesis. Universidad Privada Antenor Orrego. Trujillo. Perú. Recuperado de: <https://www.google.com/search?source=hp&ei=UWXHXfnSjY-V5wL7uYa4Aw&q=importancia+del+indice+de+rugosidad>
- Sánchez, G (2017).** *Vehículos aéreos no tripulados: descripciones generales y aplicaciones.* Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/332353911\\_VEHICULOS\\_AEREOS\\_NO\\_TRIPULADOS\\_DESCRIPCIONES\\_GENERALES\\_Y\\_APLICACIONES](https://www.researchgate.net/publication/332353911_VEHICULOS_AEREOS_NO_TRIPULADOS_DESCRIPCIONES_GENERALES_Y_APLICACIONES)
- Sánchez, G. y Valemnzuela, M. (2013).** Vehículo Aéreo No Tripulado. INFODEFENSAIDS. Patrocinado por EXPAL, TEKPLUS AERELECTRONICS . España. Recuperado de
- Sanchez, H y Reyes, C. (2012)** Métodos y Diseños de. Investigación Científica. Edit. Universitaria. Lima - Perú.
- Sánchez, M y Martínez, E (2018).** *Determinación del Iri en Pavimentos a partir de Procedimientos Fotogramétricos.* Revista Informática – La Habana Cuba. Recuperado de: <http://www.informaticahabana.cu/sites/default/files/ponencias.pdf>.
- Sapag, N (2012).** Preparación y Evaluación de Proyectos de Inversión. Edit. Mc Graw Hill. Méjico. p
- Sayers, M et al (1986)** Guidelines for Conducting and Calibrating Road Roughness Measurements. World Bank Technical Paper Number 46. Washington, D.C, USA  
Recuperado de: <https://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/3133/72764.pdf>
- Tacca, H (2015)** *Comparación de Resultados Obtenidos De Un Levantamiento Topográfico Utilizando la Fotogrametría Con Drones al Método tradicional*”. Tesis Universidad Nacional del Altiplano. Perú. Recuperado de

## **ANEXOS**

ANEXO A:  
Declaración de autenticidad



Universidad  
Ricardo Palma

Escuela de Posgrado

**DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD Y NO PLAGIO**

**DECLARACIÓN DEL GRADUANDO**

Por el presente, el graduando: *(Apellidos y nombres)*

**Olivera Quispe Wilson Claudio**

en condición de egresado del Programa de Posgrado:

**Maestría en Ingeniería Vial con mención en carreteras, puentes y túneles**

deja constancia que ha elaborado la tesis intitulada:

**Rugosidad Superficial del Camino Departamental CU-112 determinado por imágenes captadas con VANTs**

Declara que el presente trabajo de tesis ha sido elaborado por el mismo y no existe plagio/copia de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por cualquier persona natural o jurídica ante cualquier institución académica, de investigación, profesional o similar.

Deja constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no ha asumido como suyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o de la Internet.

Asimismo, ratifica que es plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asume la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento y es consciente de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, el graduando se somete a lo dispuesto en las normas de la Universidad Ricardo Palma y los dispositivos legales vigentes.



Firma del graduando

Octubre 2020

Fecha

ANEXO B:

Autorización de consentimiento para realizar la investigación

		<b>Universidad Ricardo Palma</b>		<b>Escuela de Posgrado</b>	
<b>AUTORIZACIÓN PARA REALIZAR LA INVESTIGACIÓN</b>					
<b>DECLARACIÓN DEL RESPONSABLE DEL AREA O DEPENDENCIA DONDE SE REALIZARA LA INVESTIGACIÓN</b>					
<p>Dejo constancia que el área o dependencia que dirijo, ha tomado conocimiento del proyecto de tesis titulado:</p>					
<b>Rugosidad Superficial del Camino Departamental CU-112 determinado por Imágenes Captadas con VANTs</b>					
<p>el mismo que es realizado por el Sr./Srta. Estudiante (Apellidos y nombres):</p>					
<b>Olivera Quispe Wilson Claudio</b>					
<p>, en condición de estudiante - investigador del Programa de:</p>					
<b>Maestría en Ingeniería Vial con mención en carreteras, puentes y túneles</b>					
<p>Así mismo señalamos, que según nuestra normativa interna procederemos con el apoyo al desarrollo del proyecto de investigación, dando las facilidades del caso para aplicación de los instrumentos de recolección de datos.</p>					
<p>En razón de lo expresado doy mi consentimiento para el uso de la información y/o la aplicación de los instrumentos de recolección de datos:</p>					
<b>Nombre de la empresa:</b>				<b>Autorización para el uso del nombre de la Empresa en el Informe Final</b>	
<b>CONSORCIO CCECC PERU</b>				<b>SI</b>	
				<b>NO</b>	
<b>Apellidos y Nombres del Jefe/Responsable del área:</b>			<b>Cargo del Jefe/Responsable del área:</b>		
<b>Ing. Walter Pabon Franco</b>			<b>Gerente Vial</b>		
<b>Teléfono fijo (incluyendo anexo) y/o celular:</b>			<b>Correo electrónico de la empresa:</b>		
<b>941 479 807</b>			<b>wpabon@cceccperu.com</b>		
				<b>Paucartambo, Setiembre 2020</b>	
Firma				Fecha	

## ANEXO C:

## MATRIZ DE CONSISTENCIA

“Regularidad Superficial del Camino Departamental CU-112 determinado de imágenes captadas con VANTs”

Problema	Objetivos	Hipótesis	Variables indicadas	Diseño	Población y muestra
<p>Problema Principal</p> <p>¿Cómo impacta el uso de VANTs en la eficiencia para determinar la regularidad Superficial del camino departamental CU-112, en comparación con los sistemas tradicionales RTRRMS?</p>	<p>Objetivo General</p> <p>¿Determinar en qué medida impacta el uso de VANTs en la eficiencia para determinar la regularidad superficial del camino departamental CU-112, en comparación con los sistemas tradicionales RTRRMS?</p>	<p>Hipótesis General</p> <p>¿El uso de VANTs impacta significativamente en la eficiencia para determinar la regularidad superficial del camino departamental CU-112, en comparación con los sistemas tradicionales RTRRMS?</p>	Variable Independiente	Tipo de investigación	Población
<p>Problemas Específicos</p> <p>a) ¿Cómo impacta el uso de VANTs en el nivel de precisión para determinar la regularidad Superficial del camino departamental CU-112, en comparación con los sistemas tradicionales RTRRMS?</p> <p>b) ¿Cómo impacta el uso de VANTs en el tiempo de demora</p>	<p>RTRRMS?</p> <p><b>objetivos específicos</b></p> <p>a) Determinar en qué medida impacta el uso de VANTs en el nivel de precisión para determinar la regularidad superficial del camino departamental CU-112, en</p>	<p>Hipótesis Especificas</p> <p>a) ¿El uso de VANTs impacta significativamente en el nivel de precisión para determinar la regularidad superficial del camino departamental CU-112, en comparación con los sistemas tradicionales RTRRMS?</p>		Investigación aplicada de tipo no experimental a nivel descriptivo y con enfoque cuantitativo	El total de la vía.  Muestra  Toda la población
				<b>DISEÑO DE Investigación</b>	

---

para determinar la regularidad Superficial del camino departamental CU-112, en comparación con los sistemas tradicionales RTRRMS?

c). Cómo impacta el uso de VANTs en los costos para determinar la regularidad superficial del camino departamental CU-112, en comparación con los sistemas tradicionales RTRRMS?

comparación con los sistemas tradicionales RTRRMS?

**b)** ¿Determinar en qué medida impacta el uso de VANTs en el tiempo de demora para determinar la regularidad superficial del camino departamental CU-112, en comparación con los sistemas tradicionales RTRRMS?

**c)** ¿Determinar en qué medida impacta el uso de VANTs en los costos para determinar la regularidad superficial del camino departamental CU-112, en comparación con los sistemas tradicionales RTRRMS?

b) ¿El uso de VANTs impacta significativamente en el tiempo de demora para determinar la regularidad superficial del camino departamental CU-112, en comparación con los sistemas tradicionales RTRRMS?

c) ¿El uso de VANTs impacta significativamente en los costos para determinar la regularidad Superficial del camino departamental CU-112, en comparación con los sistemas tradicionales RTRRMS?

Se describe el resultado de la variable Regularidad superficial en función al comportamiento de la variable uso de vehículos aéreos no tripulados. Finalmente se determina la eficiencia en cada caso



ANEXO D:

MATRIZ DE OPERACIONALIZACION DE VARIABLES

“Regularidad Superficial del Camino Departamental CU-112 determinado por imágenes captadas con VANTs”

Variable Independiente	Indicador	Definición Conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Instrumento	Item
Regularidad Superficial	IRI	Es la variación en la elevación de la superficie a lo largo de una carretera que causa vibraciones en los vehículos que atraviesan. El estadístico de resumen estándar que cuantifica esta variación es el IRI.	Se refiere al logro del objetivo general, que es la evaluación de las mediciones realizadas para determinar la regularidad superficial de la vía a través de un indicador denominado Índice de Regularidad Internacional (IRI) cuyo valor es el resultado de aplicar la respectiva fórmula que incorpora básicamente, el valor de las dimensiones verticales que indican el grado de deterioro, y dimensiones horizontales el tramo de vía analizada	Medidas horizontales	Observación directa	1
				Medidas Verticales		2
Variable dependiente	Indicador	Definición Conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Instrumento	Item
		Son Vehículos aéreos no Tripulados (VANTs) que cuentan con cámaras fotográficas de diferentes resoluciones se caracterizan por tener	Se refiere al logro del objetivo general, que son las mediciones realizadas para	El tipo de		3

Operación del VANTs	Calidad De la cámara	autonomía de vuelo, es decir, no son tripulados, para el caso de la determinación de la regularidad superficial, resulta una alternativa a tomarse en cuenta, considerando el menor tiempo de demora en las operaciones y posiblemente menores costos respecto a otros sistemas RTRRMS.	determinar las dimensiones horizontales y verticales. Este trabajo lo realiza básicamente la cámara que va incorporada den el VANTs y al realizar.	VANTs  Calidad de cámara	Observación directa	4
---------------------	----------------------	---	--	--------------------------------	---------------------	---