



# FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

“COMPARACIÓN DE LA METODOLOGÍA PCI PARA LA EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DEL PAVIMENTO DE FORMA CONVENCIONAL Y CON EL USO DE UN DRON, CAJAMARCA 2021”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Yeyson Yamir Leiva Romero

Asesor:

Ing. Anita Elizabet Alva Sarmiento

Cajamarca - Perú

2021

## **DEDICATORIA**

### **A DIOS Y MI ABUELITA**

Por cuidarme y bendecirme cada día,  
por guiarme durante toda mi vida.

### **A MI MADRE**

Irene Salome Romero Tucto.

Por enseñarme mediante actos el  
significado del esfuerzo y compromiso,  
por sus palabras de motivación  
a nunca rendirme y ser  
un profesional correcto.

### **Y TIOS**

Julio, Felicitas, Evert, Joel

Que siempre me apoyaron y me  
motivaron a seguir adelante.

## **AGRADECIMIENTO**

### **A LA UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE**

Por ser mi alma máter.

### **A MI MADRE Y ABUELITA**

Irene Salome Romero Tucto y

Rosa Emilia Tucto Pérez,

por su amor incondicional.

Por enseñarme a ser perseverante,

a ser fuerte y nunca rendirme.

### **AL DIRECTOR DE CARRERA**

Dr. ING. Orlando Aguilar Aliaga.

por su enseñanza.

### **AI ASESOR**

Ing. Anita Alva Sarmiento.

### **A LOS DOCENTES**

Por su apoyo y enseñanza en todo

mi vivir como estudiante.

## Tabla de contenidos

<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>2</b>
<b>AGRADECIMIENTO.....</b>	<b>3</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>5</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>6</b>
<b>ÍNDICE DE ECUACIONES .....</b>	<b>7</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>8</b>
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>9</b>
<b>CAPÍTULO II. MÉTODO.....</b>	<b>24</b>
<b>CAPÍTULO III. RESULTADOS .....</b>	<b>34</b>
<b>CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES .....</b>	<b>44</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>49</b>
<b>ANEXO 1. Matriz de Consistencia. ....</b>	<b>54</b>
<b>ANEXO 2 Ficha de Registro de Datos de las Investigaciones seleccionadas. ....</b>	<b>55</b>
<b>ANEXO 3 Formato de Matriz Comparativa .....</b>	<b>58</b>
<b>ANEXO 4 Guía de uso del Dron para evaluación de PCI .....</b>	<b>59</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> <i>Escala de Índice de Serviciabilidad</i> .....	17
<b>Tabla 2</b> <i>Principales tipos de Falla</i> .....	18
<b>Tabla 3</b> <i>Fallas más comunes</i> .....	19
<b>Tabla 4</b> <i>Índice de Condición del Pavimento (PCI)</i> .....	19
<b>Tabla 5</b> Clasificación de los Drones .....	21
<b>Tabla 6</b> Criterios de Selección de la muestra.....	26
<b>Tabla 7</b> Muestra de Investigaciones seleccionadas .....	26
<b>Tabla 8</b> Tipos de Fallas más comunes encontradas en las investigaciones .....	32
<b>Tabla 9</b> Metodologías utilizadas para la evaluación del pavimento. ....	34
<b>Tabla 10</b> Equipos de medición para la evaluación del pavimento más utilizado. ....	35
<b>Tabla 11</b> Tipos de fallas que reportan las investigaciones analizadas.....	36
<b>Tabla 12</b> Protocolos de seguridad utilizados para la inspección del pavimento.....	38
<b>Tabla 13</b> Ventajas de la Metodología Convencional vs la Metodología apoyada en un Dron para la evaluación del pavimento .....	39
<b>Tabla 14</b> Desventajas de los equipos .....	40
<b>Tabla 15</b> Matriz comparativa de metodología convencional vs la metodología apoyada en un Dron para la evaluación del pavimento .....	42

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Representación porcentual de las metodologías más utilizadas.....	34
<b>Figura 2</b> <i>Representación porcentual de los equipos utilizados para la evaluación del pavimento.</i> .....	35
<b>Figura 3</b> Representación de las Fallas reportadas en las investigaciones.....	37

## ÍNDICE DE ECUACIONES

<i>Ecuación 1</i> Cálculo de PCI .....	20
--	----

## RESUMEN

La presente investigación tuvo por objetivo comparar la metodología: Índice de condición del pavimento con el uso de un dron y la aplicada de forma convencional determinando la influencia del dron en el factor tiempo y seguridad. Para ello la investigación se enmarca en un enfoque cualitativo de tipo descriptivo y corte longitudinal, teniendo como grupo de estudio las investigaciones cuyo título o pregunta de investigación estuviese estrechamente relacionada con el tema, publicadas en los últimos 10 años en revistas científicas o trabajos de grado. Dentro de los resultados más resaltantes, se menciona que la metodología más utilizada es el índice de condición del pavimento, con un 48%, seguida por los sistemas de información geográfica con 14%. De igual forma, el equipo más utilizado fue el Dron con un 31%, el mismo que permite una mayor cobertura de área, almacenaje de la información y utilización de software que ayudan en el análisis de los datos, además de su influencia positiva en el factor tiempo y seguridad; dentro de las desventajas, se pudo evidenciar que el Dron, presenta limitaciones por la necesidad de manipulación de un personal experto, y el tiempo de duración de las baterías, aunado a la falta de información de la normativa vigente, lo cual dificulta su uso en la práctica. Como conclusión, se determinó que el uso del dron influye de forma positiva en cuanto al análisis de los datos, la distancia que se recorre por evaluación, la calidad de las fotos, la posibilidad de almacenamiento de la información y la seguridad que brinda. Por estos motivos, se dio por aceptada la hipótesis, dado que, el uso de la metodología “Índice de condición del pavimento” utilizando el dron, influye de forma positiva en el factor tiempo y seguridad.

**Palabras clave:** Metodología PCI, dron, evaluación, pavimento.

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Las vías pavimentadas son elementos de gran relevancia para el desarrollo de las sociedades. Sin distinción de su origen urbano o rural, estas constituyen un motor de desarrollo socio-económico de las comunidades y ciudades ubicadas dentro de su radio de acción e impacto tanto directo como indirecto. Ahora bien, existen una serie de aspectos que influyen en la integridad de las carreteras. Estos aspectos pueden encontrarse desde el diseño adecuado de la carretera, hasta los factores legales que dentro del marco de las normas nacionales, internacionales y legislaciones locales se aplican para su ejecución (Andrade et al. 2015), es por ello que al realizar un diseño o un plan adecuado de acuerdo a la normativa vial ayudaría al desarrollo socio-económico.

En este sentido, la vialidad ha adquirido un rol esencial para el mundo, siendo necesario que todas las vías sean adecuadas, cómodas, y seguras tal que, propicien las condiciones para el transporte de personas y bienes de consumo de forma eficiente garantizando la circulación cómoda de los vehículos en cualquier circunstancia debido a que el desarrollo de las sociedades humanas dependen en gran medida de la capacidad de comunicación y traslado que tengan sus habitantes (Lizcano y Rojas, 2012), debido a esto, es importante tener las vía en óptimas condiciones realizando periódicamente una inspección del pavimento.

El constante uso de las vías terrestres afectan de manera directa las condiciones del pavimento el cual debe contar con un plan de mantenimiento y acciones preventivas para garantizar su adecuada conservación (Picado, 2016). Un alto índice de usabilidad arroja un alto porcentaje de deterioro de las principales vías, por lo cual, es necesario realizar evaluaciones técnicas del pavimento de manera periódica para

realizar acciones que prolonguen su vida útil y se conserven de manera adecuada (Serna y Herrera, 2019).

Según Cruz et al. (2018) los actuales métodos de inspección superficial demandan de mucho tiempo, requieren mucho personal y en algunas ocasiones son costosos. Por lo tanto, el uso de técnicas modernas que permitan hacer el seguimiento de la condición del pavimento de forma eficiente, optimizando los recursos de los gobiernos municipales es una tarea muy importante.

Actualmente, los vehículos Aéreos No Tripulados (VANT) comúnmente conocidos como Dron, son en esencia pequeñas plataformas aéreas que se operan a distancia o en forma programada. Los mismos, ganaron popularidad en el mundo por sus aplicaciones militares, sin embargo, esta tecnología tiene un amplio espectro de usos pacíficos a partir de la obtención de fotografías los cuales después de un tratamiento digital, pueden ser convertidas en ortofotos y modelos 3D (Martínez, et al 2009). Asimismo, el uso de vehículos aéreos no tripulados de bajo costo, se han empleado en investigaciones para recolectar información de la condición de caminos rurales, obteniendo resultados con buena precisión y confiabilidad (Zhang, Elaksher, 2012), lo cual ayudaría a optimizar y mejorar la metodología PCI.

En cuanto al ámbito nacional, Perú tiene un tema muy preocupante que es la red vial, pues en ella se presentan molestias por la falta de señalización y el mal estado de los pavimentos. Como expone Tocto (2014) en nuestro país los problemas con las vías en mal estado generan problemas sociales, económicos y en ocasiones hasta pérdidas humanas. Todo esto, debido a que no se lleva a cabo un mantenimiento adecuado ni se toma en cuenta el plan de vida de la vía, es decir, no se evalúa el comportamiento del pavimento con el paso del tiempo y sólo se interviene cuando el deterioro del pavimento es grave.

**¿El uso de un Dron en la evaluación de las condiciones del pavimento en comparación a realizarla de forma convencional?** De esta manera, se tiene como variable independiente a la metodología PCI para evaluar el pavimento. Frente a la pregunta de investigación, se realizó una revisión documentada, la cual engloba a veintinueve estudios de investigación sobre temas relacionados con la metodología PCI de forma convencional y con el uso de un dron, estos fueron recopilados de fuentes bibliográficas tales como: Dialnet, Scielo, Redalyc y Google Académico. Del mismo modo, deben tener una fecha de publicación no menor a 10 años. La investigación tuvo un enfoque hacia casos donde se verifica la metodología para evaluar la condición del pavimento.

Se propuso como objetivo principal: **Comparar la metodología PCI para la evaluación de las condiciones del pavimento utilizada de forma convencional y con el uso de un Dron;** y como objetivos específicos: realizar una revisión sobre los aspectos referentes a la evaluación de pavimentos con la metodología PCI, desarrollar una matriz comparativa a partir de los resultados obtenidos en las investigaciones de los últimos 10 años donde se utiliza la metodología PCI de forma tradicional y con el uso de un dron, y por último, redactar una guía o manual en base a los resultados obtenidos que optimice el uso de la metodología PCI usando un dron, Por otro lado, a la pregunta de investigación planteada se propone como respuesta la siguientes hipótesis: **La metodología PCI usando un dron influye de manera positiva en el factor tiempo y seguridad.** Debido a la importancia mencionada de la condición del pavimento y a la carencia de trabajos sobre análisis de pavimentos, la presente tesis centrará su estudio en la metodología PCI de forma tradicional y usando un dron.

Existen antecedentes tales como los realizados por los autores González et al., (2019), en su artículo científico titulado: “Drones, Aplicaciones en Ingeniería civil y geociencias”, quienes manifiestan que en los últimos años se está utilizando en la Ingeniería Civil el uso de drones para realizar mediciones topográficas en zonas de difícil acceso, cuya especial función es fotografiar y detallar con calidad y precisión una zona establecida para conocer su estado. Llegando a la conclusión, que a pesar que los drones son una herramienta útil, estos deben ser económicamente viable a los propósitos de la aplicación; que reemplacen métodos peligrosos para eliminar riesgos a los operarios o trabajadores.

También Cruz y Gutierrez, (2019), en su artículo de investigación titulado: “Evaluación superficial de las vías urbanas empleando un vehículo aéreo No Tripulado (VANT)”. Cuyos resultados demuestran que el método (VANT) logra almacenar grandes cantidades de datos de modo seguro. Lo que facilita posteriormente la elaboración de planos con valores seguros lo cual implica una ventaja sobre el método tradicional, porque evita los riesgos de sufrir accidentes al momento de inspeccionar los profesionales, brindando un procedimiento alternativo confiable para el establecimiento de planes de mantenimiento y rehabilitación de las vías urbanas.

Así mismo, Díaz, (2019) en su investigación para optar al título de Ingeniería Civil elaboró un trabajo titulado: “Estudio preliminar sobre el uso de dron durante el proceso de pavimentación en caminos de asfáltico”. En dicha investigación se utilizó el dron para monitorear y capturar imágenes que le permitieron visualizar las oportunidades de mejoras durante el proceso de construcción de la pavimentación. Esto como una herramienta tecnológica de punta que facilita la obtención de imágenes para su aplicación en el ámbito civil.

Así mismo, Zuluaga, (2019) realizó una tesis titulado: “Sistema de clasificación de severidad de daños en pavimentos flexibles para determinar posibles intervenciones” cuyo objetivo fundamental fue “proponer una metodología de evaluación y determinación de posibles intervenciones para el pavimento flexible de un segmento de vía, buscando dar prioridad siempre a conservar un buen estado del pavimento y disminuir costos de mantenimiento” (p. 12). Obteniendo como resultados que en la gestión de vías se presenta una serie de dificultades que impiden estandarizar los procesos de mantenimiento, para ello, se utilizó la inspección visual y evaluación de pavimentos mediante la aplicación de metodologías como PCI y VIZIR logrando establecer, que permitieron posteriormente, determinar de manera matemática las posibles intervenciones.

Y Dávila et al., (2017) elaboraron una investigación para optar el grado de maestro en gerencia de obras y construcción titulada “APLICACIÓN DEL MÉTODO DEL PCI EN LA EVALUACIÓN DEL PAVIMENTO RÍGIDO DE LA VIA CANAL DE LA AVENIDA CHICLAYO DISTRITO JOSÉ LEONARDO ORTIZ PROVINCIA DE CHICLAYO PERIODO 2016”, la cual consistió en aplicar la metodología PCI durante el diagnóstico del Pavimento Rígido de la vía canal de la Interconexión Vial Chiclayo – Lambayeque – Ferreñafe, conocida como la Avenida Chiclayo, comprendido desde la Avenida Agricultura (carretera a Ferreñafe) en el distrito José Leonardo Ortiz hasta el dren 3700 con salida a la Panamericana Norte (carretera a Lambayeque)” (p. 19), de la Provincia, cuya finalidad fue determinar el nivel de deterioro de la estructura del pavimento en función de los daños existentes, apegados a las sugerencias que señala la metodología PCI. Obteniendo como resultados, el 83% de la vía canal de la Av. Chiclayo se encuentra en MAL ESTADO, correspondiéndole de acuerdo al método una REHABILITACIÓN MAYOR, la misma

que consistirá en mejoramientos estructurales, por lo que no es necesario proponer un plan de actividades de mantenimiento correctivo.

Como definiciones **conceptuales** específicas de la variable, se tiene que el índice de Condición del Pavimento (PCI), “constituye la metodología más completa para la evaluación y calificación objetiva de pavimentos, flexibles y rígidos, dentro de los modelos de Gestión Vial disponibles en la actualidad” (González et al., 2019, p. 7).

En este sentido, se han desarrollado diferentes metodologías para evaluación de carreteras como el método del Índice de Condición del Pavimento (PCI, por su sigla en inglés Pavement Condition Index), el cual permite evaluar y calificar de manera objetiva los pavimentos, bien sea flexible o rígido (González et al. 2019). El cual fue desarrollado para obtener un índice de la integridad estructural del pavimento y de la condición operacional de la superficie. Esta herramienta es de fácil implementación y no requiere de herramientas especializadas. Se fundamenta en los resultados de un inventario visual de la condición del pavimento en el cual se establecen clase, severidad y cantidad de cada daño presente. (Cruz y Gutierrez, 2019).

La información obtenida como parte del inventario ofrece una percepción más clara del tipo de daños presentes en el pavimento, las causas de dichos daños y su relación con las cargas o el clima (Rondón y Reyes, 2007). Para ello es necesario realizar un diagnóstico y corroborar el estado funcional del pavimento según el coeficiente de confiabilidad que va desde un 50% hasta un 90% según la importancia de la vialidad, haciendo necesario implementar metodologías que determinen las condiciones del pavimento y sus deficiencias (García et al., 2016). De manera tradicional, la información sobre el estado de la carretera se realiza mediante visitas e inspecciones al tramo de la vialidad que se desea inspeccionar In situ, para lograr

verificar las condiciones del pavimento y las diferentes fallas que puedan presentarse, además de poder observar la magnitud o severidad del daño presente en la vialidad (Miro et al., 2007).

En la actualidad y gracias a los grandes avances tecnológicos, han permitido incorporar nuevas herramientas para la obtención de la data de la carretera, y su uso en la Ingeniería Civil es cada vez más frecuente, debido a que garantizan con mayor efectividad la evaluación de las condiciones del pavimento, “ayudando a minimizar el margen de error, optimizan el tiempo de respuesta, minimizan los costos y abarcan la mayor cantidad de superficies de vías urbanas a través de imágenes georreferenciadas obtenidas por Vehículos Aéreos No Tripulados (VANT)” lo que se traduce en un paso adelante para la robótica y la programación (Cruz y Gutierrez, 2019).

Es así, como tecnologías modernas como los Drones ofrecen ventajas que los convierten en firmes apuestas en el ámbito técnico operativo para el uso en evaluación de pavimentos debido a su flexibilidad, eficacia, conservación del medio ambiente, simplicidad de uso y mayor precisión en la información (Piatti y Lerma, 2013). En palabras de quien advierte que la funcionalidad de la vialidad depende de la estructura orientada a proporcionar a los usuarios una circulación segura, cómoda y confortable lo cual implica un riguroso plan de conservación y mantenimiento. Para ello es necesario además considerar lo siguiente:

- Proteger la subrasante y el suelo de fundación del clima
- Controlar la presencia y efecto del agua a nivel del suelo de fundación.
- Capacidad de carga suficiente de los materiales que integran la estructura para resistir el tráfico y el clima.
- Cumplir requerimientos medioambientales y estéticos.

- Durabilidad para que no se deteriore debido a las variables ambientales (agua, oxidación, efectos de la temperatura).
- Capacidad de carga suficiente adecuada a contexto y compatible estéticamente con el entorno, en especial en zonas urbanas y zonas protegidas (Vargas, 2018, p. 54).

Así mismo, los sistemas computarizados han permitido gestionar programas de gestión de mantenimiento de pavimentos, favoreciendo el procesamiento de la información recopilada para futuras intervenciones. Lo que es beneficioso, para determinar el Índice de Condición de Pavimento como método de cuantificación de los daños ocasionados al pavimento, para su cálculo según lo señalado en la Norma ASTM D6433, (2005) “Los valores establecidos están en unidades pulgada-libra y deberán ser considerados como valores estándar. Las unidades del SI indicadas en paréntesis son referenciales” (p. 1).

La escala de medición de la norma ASTM establece la cantidad de las fallas además de calcular el PCI de cada unidad de muestra, dando una calificación a las condiciones de la superficie encontrada según las observaciones realizadas, “indicando también su integridad estructural y condiciones operacionales (rugosidad localizada y seguridad)” (Arias, 2014, p. 5). Dicho dato, no mide su capacidad estructural, no proporciona el coeficiente de resistencia ante la fricción, limitándose a proporcionar una base objetiva y racional de las necesidades de reparación y mantenimiento, anticipando de esta manera de las necesidades de atención para incorporar planes que aumenten su mejora y vida útil (Norma ASTM D6433, 2005).

Para el cálculo del PCI se debe proceder de manera individual en cada una de las unidades de interés. Para lo cual, se debe calcular la incidencia porcentual de las fallas con respecto a la superficie de la unidad o el número de losas de ésta, según corresponda, y aplicar estos valores porcentuales para cada tipo de falla en una serie

de curvas. Se debe recordar que, son múltiples los orígenes de las fallas de la superficie del pavimento que perjudican la usabilidad de las carreteras para la circulación del tráfico. Por ello, es fundamental su constante evaluación para en caso de ser necesario renovar superficie y corregir los defectos de la superficie y lograr el grado de serviciabilidad necesario (Norma CE.010, 2010).

Considerando la serviciabilidad como la satisfacción que presentan los usuarios ante la calidad del servicio, en este caso, la vialidad con una buena superficie de rodadura y los elementos que constituyen la seguridad vial. Para su estandarización la AASHTO (American Association of State Highways and Transportation Officials), fue el organismo que tuvo como iniciativa sistematizar un procedimiento, cuyo objetivo fuera establecer un nivel de deterioro de los pavimentos, procurando relacionar la condición funcional con la estructural, clasificando de esta manera los pavimentos, asignando valores extremos que variaban desde 0, para un camino intransitable, hasta 5 para una superficie en perfectas condiciones (situación ideal). De manera esquematizada se puede apreciar en la siguiente tabla 1.

**Tabla 1**

*Escala de Índice de Serviciabilidad*

<b>Índice de Serviciabilidad</b>	<b>Calidad</b>
<b>5</b>	Muy buena
<b>4</b>	Muy buena
<b>3</b>	Buena
<b>2</b>	Regular
<b>1</b>	Mala
<b>0</b>	Pésima

*Nota.* La tabla 1 fue obtenida de la Guía AASHTO el cual muestra el índice de serviciabilidad de acuerdo a su calidad.

Logrando quedar establecida que, las principales causas de las fallas en los pavimentos, pueden ser factores de origen estructural, climáticos, ambientales, variaciones térmicas externas (Picado, 2016). Deficiente conservación vial entre otras. Como se pudo observar es importante conocer e identificar las posibles causas de una determinada falla, para evaluar la misma, y buscar los mecanismos de reparación. La apreciación de las causas de las fallas observadas debe conducir a la diferenciación de dos casos globales en los que debe identificarse la falla analizada, según el Manual de Carretera, suelos, geología, geotecnia y pavimentos (2013). Dentro de las principales fallas estas son:

**Tabla 2**

*Principales tipos de Falla*

Tipo de Falla	Clasificación
Estructural	Fallas atribuibles a la carpeta
	Fallas originadas en la interface, consecuencia de una interacción inadecuada
	Fallas originadas en la base, como consecuencia de la inestabilidad
	Fallas originadas por la repetición de cargas
	Fallas ocasionadas por los agentes climatológicos
Funcional	Fallas ocasionadas por hormigueros
	Fallas ocasionadas por madrigueras de algún animal.
	Ondulaciones longitudinales
	Deformaciones transversales
	Texturas de la superficie
	Porcentaje de baches y áreas reparadas

*Nota.* (Zuluaga, 2019; Ministerio de Transporte y Comunicaciones Perú, 2013)

Según la bibliografía consultada se han diferenciado 20 manifestaciones de daños que pudieran sufrir el pavimento tanto flexible como mixto, e igual número para

pavimentos rígidos. Dentro de los más comunes y frecuentes que pudiera presentar el deterioro del pavimento. Se detalla a continuación:

**Tabla 3**

*Fallas más comunes*

Tipo de falla	Asfalto	Hormigón
-Fisuras y grietas	X	X
-Baches	X	X
-Asentamientos	X	X
-Fallas en las juntas		X
-Desconchamiento		X
-Desgaste superficial		X
-Escalonamiento		X
-Pérdida de árido	X	
-Peladuras	X	
-Ahuellamiento	X	
-Exudación	X	

*Nota.* (Vargas, 2018)

Dentro del modelo de gestión vial se debe calcular el Índice de Condición del Pavimento (PCI), según lo señalado (González et al., 2019), para calcular las condiciones del pavimento mediante un proceso metodológico. La misma que se detalla a continuación:

**Tabla 4**

*Índice de Condición del Pavimento (PCI)*

Número	Valor PCI (estado de la vía)	Nivel de servicio	Intervención propuesta
100	Excelente	A	Mantenimiento rutinario
85	Muy bueno	B	Mantenimiento preventivo
70	Bueno	C	Procesos leves de rehabilitación
55	Regular	D	Procesos considerables de rehabilitación

40	Malo	E	Procesos considerables de rehabilitación
25	Muy Malo	F	Reconstrucción
10	Fallado	F	Reconstrucción
0			

*Nota.* Adaptado de Zuluaga, (2019, p. 36)

Desarrollado por el Sistema de Gestión del estado de Ontario (OPAC), es un procedimiento de evaluación por excelencia y se enmarca dentro de los métodos de índice globales, en vista que a través de la observación directa permite medir y diagnosticar el estado del pavimento en referencia a esto los autores (Cruz y Gutierrez, 2019), consideran que, “esta metodología de evaluación tiene como principal ventaja facilitar la clasificación del estado de los pavimentos a través de una única nota, y como desventajas la posibilidad de que una misma nota represente diferentes estados de pavimento” (p.60) esto es motivado a que el nivel de las variables se compensan mutuamente, además de las complejidades de los coeficientes calificativos asignado a cada parámetro. Los pasos para la implementación son:

**Definición de la dimensión de las unidades de muestreo;** En este caso el ancho debe ser inferior a 7,30m y la zona debe estar entre el intervalo de  $230,0 \pm 93,0m^2$ .

**Cálculo del número mínimo de unidades de muestreo;** En los casos que la dimensión de la zona de pavimento sea muy grande y amerite mayores recursos, se aconseja tomar un número de muestras de menor rango y aplicar la siguiente ecuación:

*Ecuación 1 Cálculo de PCI*

$$n = \frac{N \cdot \sigma^2}{\frac{e^2}{4} \cdot (N - 1) + \sigma^2}$$

Dónde:

n: Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar

N: Número total de unidades de muestreo e la sección del pavimento

e: Error admisible en la estimación del PCI

$\sigma$ : Desviación estándar

***Selección de las unidades de muestreo a considerar en la inspección visual;***

Se elige de forma aleatoria para realizar los cálculos.

***Selección de las unidades de muestreo adicionales;*** Se elige una unidad adicional o representativa para minimizar errores.

***Evaluación de la condición del pavimento por inspección visual;*** Se registra en un formato el inventario de daños.

***Cálculo del PCI de las unidades de muestreo;*** a groso modo aquí se calculan los valores deducidos, luego se extrae el número máximo, para después calcular el PCI de cada sección y como resultado se estima la desviación.

De esta manera, y gracias a los avances tecnológicos hoy en día se pueden determinar dichas fallas de una manera más rápida y segura con la reciente aplicación en la ingeniería civil de tecnologías de punta, como el dron, cuya tendencia permanente se dirige al uso de vehículos no tripulados como por ejemplo los Drones (Cárdenas et al., 2019).

Estos vehículos no tripulados pueden ser tanto aéreos, como terrestres o acuáticos, y pueden clasificar de la siguiente manera:

## Tabla 5

### *Clasificación de los Drones*

<b>Clasificación según:</b>	<b>Descripción</b>
En cuanto al uso podemos encontrar	<b><i>Drones militares.</i></b> Suelen ir armados y con capacidad de bombardeo, aunque otras veces son únicamente para espionaje.
	<b><i>Drones civiles.</i></b> Son aquellos que no tienen uso militar y a su vez pueden ser: drones de uso comercial, para la venta de servicios como la

Clasificación según:	Descripción
Por el tipo de control que utilizan pueden ser	<p>fotogrametría, multimedia, etc.; drones para aficionados, para su uso como hobby; drones de uso gubernamental, para las fuerzas del estado, bomberos, rescate, etc.</p> <p><b>Autónomo.</b> No necesita de un piloto humano que lo controle desde tierra. Se guía por sus propios sistemas y sensores integrados.</p> <p><b>Monitorizado.</b> En este caso sí se necesita de un técnico humano. La labor de esta persona es proporcionar información y controlar el feedback del dron. El dron dirige su propio plan de vuelo y el técnico, a pesar de no poder controlar los mandos directamente, sí puede decidir qué acción llevará a cabo. Este sistema es habitual en labores de agricultura de precisión y fotogrametría.</p> <p><b>Supervisado.</b> U operador lo pilota, aunque puede realizar algunas tareas autónomamente</p> <p><b>Preprogramado.</b> Sigue un plan de vuelo diseñado previamente y no hay forma de modificarlo para adaptarse a posibles cambios.</p> <p><b>Controlado remotamente (R/C).</b> Es pilotado directamente por un técnico mediante una consola.</p>
En cuanto a su forma tenemos	<p><b>Multirrotores.</b> Son los más usados actualmente. Se componen de varios motores independientes situados en los extremos del aparato. Se suelen clasificar según el número de motores en tricópteros (3), cuadricópteros (4), hexacópteros (6) y octocópteros (8). Su uso es el más extendido debido a su gran estabilidad y la facilidad y cantidad de maniobras que pueden realizar, además de poder volar estáticamente en el lugar que les indiquemos. Su desventaja es el gran consumo de energía que necesitan para mantener el vuelo y su autonomía que suele estar entre los 15 y los 30 minutos. Son ideales en el sector audiovisual y en la inspección industrial</p> <p><b>Helicópteros.</b> Su forma es la de un helicóptero convencional, pero de tamaño pequeño. Está compuesto de un solo motor principal y ello le otorga gran capacidad de carga y autonomía. Existen modelos de combustión interna que pueden volar durante una (1) hora sin repostar. No obstante, su complejidad tanto a nivel mecánico como de control los ha hecho menos accesibles y son los menos utilizados. Ideales para fotogrametría, vigilancia o agricultura de precisión.</p> <p><b>Ala fija.</b> Son aquellos cuya fisonomía es similar a la de un aeroplano. Están compuestos por un cuerpo principal unido a dos alas que les permiten planear y un rotor en cola cuya propulsión puede ser eléctrica o de combustión. Sin duda, es el más eficiente aerodinámicamente hablando y el que tiene mayor autonomía de vuelo. Por otro lado, existe el inconveniente de que es el que menor carga puede llevar, tiene menos agilidad de maniobras ya que no puede permanecer inmóvil y necesita una gran superficie para despegar o aterrizar. No obstante, su gran autonomía lo convierte en un candidato ideal para las labores de fotogrametría y agricultura de precisión.</p>

**Nota.** Adaptado de (Pino,2019).

Estas tecnologías se encuentran en constante evolución y su utilidad en los distintos campos profesionales se ha extendido exponencialmente sobre todo en las ciencias de la ingeniería. Por ejemplo, en la ingeniería civil, se utilizan para muchas actividades como por ejemplo para la inspección del pavimento, motivando a la investigación y generación de grandes aportes que sirven como **antecedentes** de la presente investigación.

Como se ha venido tratando, la presente investigación busca establecer las características de la metodología PCI de forma convencional y con el uso de un dron. Es decir, la tesis busca demostrar si el uso del dron aporta beneficios a la metodología PCI en la evaluación de la condición del pavimento, en comparación con la metodología PCI de forma convencional, tanto en tiempo como seguridad; concluyendo con la elaboración de una guía o manual para el uso de la metodología PCI con el uso de un dron, en base a los resultados que se obtengan. Cabe resaltar, que la guía busca ser un aporte sobre la metodología PCI con el uso de un dron, cumpliendo con la normativa vigente. Por otro lado, es menester destacar que, la presente investigación será una base de futuras investigaciones que aborden un mismo o similar elemento de estudio aplicado a la evaluación de condiciones del pavimento o el uso de un dron.

## CAPÍTULO II. MÉTODO

La presente investigación es un estudio de una revisión documentada científica existente, con lo cual, se busca analizar, estudiar y sintetizar todo el conocimiento brindado por trabajos existentes y registrados por diversos investigadores y profesionales dedicados al rubro de la evaluación de las condiciones del pavimento, estos deberán guardar relación con la pregunta de investigación. **¿Cómo influye el uso de un dron en la evaluación de las condiciones del pavimento en comparación a realizarlo de forma convencional?**; como objetivo general: **Comparar la metodología PCI para la evaluación de las condiciones del pavimento utilizada de forma convencional y con el uso de un dron**; y, como objetivos específicos: realizar una revisión sobre los aspectos referentes a la evaluación de pavimentos con la metodología PCI, desarrollar una matriz comparativa a partir de los resultados obtenidos en las investigaciones de los últimos 10 años donde se utiliza la metodología PCI de forma tradicional y con el uso de un dron; y por último, realizar un aporte mediante una guía o manual en base a los resultados obtenidos que optimice el uso de la metodología PCI apoyada en un dron.

Por otro lado, el enfoque considerado para la presente investigación de estudio, es el cualitativo, teniendo en cuenta que, según Hernández Sampieri et al. (2014), la investigación cualitativa va a utilizar una recolección de datos carente de medición numérica con la finalidad de hallar o mejorar las preguntas de investigación a lo largo de la interpretación (p. 7). Es por ello que, se utilizó este enfoque, en el cual se han observado y recolectado datos a partir de una revisión de documentos que son resultados de estudios científicos comprobados y aceptados con fecha de publicación no mayor a diez años de antigüedad.

La investigación según su propósito, es aplicada porque se enfoca en teorías ya elaboradas para contrastar los aspectos que se presentan en la realidad a objeto de estudio. Con un enfoque mixto, porque su análisis se basa en estadística descriptiva cuantificando la frecuencia con que se repiten o se presenten las categorías o criterios establecidas previamente (Hernández et al, 2014).

El Diseño de investigación es de **TIPO NO EXPERIMENTAL: DE CORTE LONGITUDINAL**. Ya que, se basó en evidencia teórica de investigaciones científicas elaboradas, cuyo título u objetivo de investigación estuviesen estrechamente relacionadas con la pregunta de la presente investigación en función de la aplicación de la metodología PCI apoyada en un dron y la aplicada de forma Convencional para evaluar el pavimento (Hernández et al., 2014).

El grupo de estudio según lo descrito por Hernández et al., (2014), es el conjunto total de fenómeno de estudio, en donde las unidades de la población poseen una característica en común. En este sentido, el grupo de estudio estuvo conformada por las investigaciones realizadas cuyo título o pregunta de investigación estuviese estrechamente relacionada con el tema de investigación.

La **muestra** fue elegida de manera intencional a criterio y conveniencia del investigador tal y como lo recomiendan Otzen y Manterola, (2017) cuando señalan que la “muestra intencional permite la selección de casos de una población limitada cuando ésta es muy variable entre sí” (p. 6). La misma, se puede seleccionar según la conveniencia del investigador siguiendo algunos criterios preestablecidos y basados en el interés indagatorio y las teorías consultadas. Fundamentados en estas ideas, la presente investigación estableció como criterios de selección de la muestra los siguientes:

**Tabla 6**

*Criterios de Selección de la muestra*

<b>Descripción</b>
- Publicados en idioma español.
- Disponible en full textos.
- Metodología enfocada a determinar la evaluación del pavimento.
- Disponibilidad de los resultados.
- Identificación del autor(s) y filiación.
- Fecha de publicación 2010 – 2020.
- Publicados en artículos científicos o tesis.

**Tabla 7**

*Muestra de Investigaciones seleccionadas*

N°	Autores	Año	Título de la investigación
1	González, H Ruíz, P. Guerrero, D.	2020	Propuesta de metodología para la evaluación de pavimentos mediante el Índice de Condición de Pavimento.
2	Baque, B	2020	Evaluación del estado del pavimento flexible mediante el método del PCI de la carretera puerto-aeropuerto (Tramo II), Manta. Provincia de Manabí.
3	Cárdenas, R Holguin, O Zabala, S	2019	Auscultación visual realizada mediante el dron DJI PHANTOM 4 PRO, con implementación de metodologías VIZIR y PCI para pavimentos flexibles en la carrera 69B Sur entre la avenida Primera de Mayo y Calle 9 A Sur - Barrio Villa Claudia - Ciudad Bogotá.
4	Valle, M Herrera, J.	2019	Uso de datos pasivos obtenidos mediante dispositivos inerciales para inferir la condición del pavimento en ciclo vías.
5	Serna, I. Herrera, J.	2019	Detección de baches en vías urbanas a partir de imágenes de alta resolución espacial, mediante técnicas de GEOBIA.
6	Díaz. E.	2019	Estudio preliminar sobre el uso de dron durante el proceso de pavimentación en caminos de asfalto.
7	Reyes, Mejía, Marcela Useche Castelblanco,	2019	Técnicas de inteligencia artificial utilizadas en el procesamiento de imágenes y su aplicación en el análisis de pavimentos.
8	Cruz, J Gutiérrez, J.	2019	Evaluación superficial de vías urbanas empleando Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT).
9	González, R. Ucán, J. Sánchez, I	2019	Drones. Aplicaciones en Ingeniería Civil y Geociencias
10	Vargas, C.	2018	Análisis comparativo de la inspección visual de un pavimento flexible, por los métodos tradicional y por sensores remotos en un kilómetro de la calle séptima en el Municipio de Cajicá Cundinamarca
11	Butos, H. Gil, R.	2018	Geomántica aplicada en la auscultación del pavimento flexible: Caso de aplicación.

N°	Autores	Año	Título de la investigación
12	Silva, A. Daza, O. López, L.	2018	Gestión de pavimentos basados en Sistemas de Información Geográfica (SIG): Una revisión.
13	Ruitón, M.	2018	Aplicación de los métodos VIZIR y PCI y su incidencia en la evaluación del estado de la carretera San Marcos Ichuacan:2018
14	Herrera, Jorge Serna, Ivan	2017	Metodología para la detección de huecos o baches en Vías terciarias urbanas a partir de imágenes de alta resolución espacial, usando técnicas de Geobia y Lógica difusa.
15	Pérez, H. Benítez, E. Díaz, M.	2017	Sistema de georreferenciada de imágenes con drones.
16	Quispe, S.	2017	Vulnerabilidad de la infraestructura vial ante el incremento del parque automotor en la ciudad de Cajamarca.
17	Valdés, L. Alonso, A.	2017	Catálogo de deterioros de pavimentos flexibles en aeropuertos para Cuba.
18	Quispe, O	2020	Evaluación de confiabilidad del drone phaton 4 pro v2.0 para calcular el índice de condición del pavimento flexible en Av. Miraflores del distrito de coman, lima-2020
19	García, U. Márquez, J. Sánchez, M. Sabino, B.	2016	Detección y evaluación de daños en pavimento asfáltico mediante procesamiento de imágenes digitales.
20	Dávila, D. Huangal, N. Salazar, W	2016	Aplicación del método del PCI en la evaluación superficial del pavimento rígido de la vía canal de la avenida Chiclayo Distrito José Leonardo Ortiz Provincia De Chiclayo Periodo 2016.
21	Thenoux, G. Gaete, R.	2016	Evaluación técnica del pavimento y comparación de métodos de diseño de capas de refuerzo asfáltico.
22	Sotil, A.	2016	Sistematización de información sobre diseño, construcción y reparación de pavimentos urbanos
23	Picado, Greivin	2016	Desarrollo de curvas de deterioro para pavimento flexible y factor de incertidumbre.
24	Macea, L. Morales, L. Márquez, L.	2015	Un sistema de gestión de pavimentos basado en nuevas tecnologías para países en vía de desarrollo.
25	Porras, H Ramón, J Mejía, Y	2014	Sistemas automáticos para la adquisición de datos enfocados a examinar pavimentos flexibles.
26	Andrade, C. Machado, I. Rufino, J.	2014	Metodología de análisis de la condición del pavimento a partir del cuenco de deflexión.
27	Porras, H. Castañeda, E. Sanabría, D. Duván, Y.	2012	Detección automática de grietas de pavimento asfáltico aplicando características geométricas y descriptores de forma.

N°	Autores	Año	Título de la investigación
28	Liscano, R Rojas, L.	2012	Comportamiento hidráulico, beneficios y limitaciones de la aplicación de un SDGA a una estructura de pavimento flexible.
29	Montoya, J.	2010	Implementación del Sistema de Gestión de Pavimentos con Herramienta HDM-4 para la Red Vial Nro. 5 Tramo Ancón – Huacho – Pativilca.

Las Técnicas de recolección de datos según Hernández et al., (2014), son técnicas de investigación que se utilizan para recoger la información, conformadas por un “conjunto de reglas y pautas que guían las actividades que realizan los investigadores en cada una de las etapas de la investigación científica” (p.74). Entre las técnicas e instrumentos que se aplicaron para recolectar datos tenemos las siguientes:

**Técnica revisión documental:** Esta técnica se enfoca en la revisión de bibliografías, siguiendo una secuencia de pasos que según Hernández et al., (2014), esta “parte de fuentes de tipo general y enlaza progresivamente con otras más específicas hasta llegar al nivel experto”(p. 35). En este sentido, en la presente investigación se aplicó dicha técnica para sistematizar la bibliografía consultada en relación a las condiciones del pavimento y las metodologías para evaluación del pavimento.

**Instrumento de recolección de datos:** Según Tamayo y Tamayo (2011) un instrumento de recolección de la información, es un recurso que sirve para registrar la información recabada, de manera física o digital de manera sistemática. En la presente investigación se diseñaron para recolectar y analizar la información:

- **Formato para extracción de datos documentales,** el mismo se utilizó para sistematizar la data recopilada de diferentes bases de datos y llevar un control de la información recuperada para su posterior análisis.

- ***Lista de Verificación:*** Para (Cardona y Restrepo, 2016) se definen la lista de verificación, como una “serie de aspectos relacionados con el objeto de estudio que se presumen puedan presentarse durante la observación, con la idea de obtener un registro sistemático que muestre si la condición o situación está presente o no” (p. 169). EL instrumento se utilizó para verificar en las investigaciones la validez y pertinencia de los documentos basado en las sugerencias del autor Bobenrieth, (2002) utilizando como criterios de evaluación: “sí”, “no” o “dudoso”.
- ***Formato de Matriz de Comparación*** (Anexo 3): Se utilizó para realizar la comparación de los resultados de las diferentes investigaciones en relación a los aspectos técnicos, económicos, numero de inspectores, entre otros, de la metodología PCI tradicional y la metodología PCI usando un dron.

A partir de la recolección de estas investigaciones, se realizaron las técnicas de instrumentos de recolección de datos teniendo en cuenta lo que menciona Corral, (2010) de “captar, evaluar, seleccionar y sintetizar los documentos, a partir del análisis de sus significados, a la luz de un problema determinado” (p. 3). Para el análisis de la información, se consideró la información recolectada para su posterior análisis de contenido, que consistió en evaluar cada autor para la toma de decisión según los criterios establecidos y poder establecer en base a los resultados si la metodología PCI usando un dron tiene mayores beneficios.

## Procedimiento para recolectar la información

- Una vez revisada la información teórica y conceptual se procedió a establecer los criterios de selección de la muestra en función de la pregunta de investigación.
- Se diseñó la ficha de recolección de datos documentales la cual fue validada por la docente experta.
- Para la búsqueda y recuperación de la información se seleccionaron como buscadores las bases de datos como Dialnet, Scielo, Redalyc y Google Académico.
- Para la búsqueda de información se consideró palabras claves las siguientes ecuaciones de búsqueda: “Vehículo Aéreo No Tripulado OR Metodología” “PCI OR, Dron ADN”; “Pavimento Flexible, ADN Imágenes” “Georreferenciadas”.
- Una vez recuperada la información se procedió importar el programa de gestor de referencias Mendeley el cual facilitó la construcción de la tabla con las diferentes investigaciones. (Anexo 2).
- Para recolectar la información documental se procedió a elaborar fichas de resumen sobre los aspectos teóricos referentes a la evaluación de pavimentos con la metodología PCI de diferentes autores.
- Se analizó el contenido de cada investigación y se utilizó la ficha de recolección de dato (Anexo 2).
- Los datos fueron ordenados siguiendo los siguientes criterios obtenidos de cada uno de las investigaciones y en caso que el criterio no se consideró por que no aplica para determinada investigación se colocó las siglas (NA) No aplica y en

caso que en la investigación el autor no haya considerado alguno de los criterios se colocó No presenta (NP= No Presenta), los mismos se detallan a continuación:

- Metodología para evaluar Pavimento
- Instrumento o equipo de medición
- Procedimiento o protocolo que llevo a cabo el investigador
- Especificaciones del equipo
- Limitaciones o desventajas
- Distancia de la carretera
- Altura de vuelo, tiempo de vuelo
- Protocolo de seguridad rutas seleccionadas / Tramos/Área
- PCI promedio
- Condiciones del pavimento encontrada (Deterioro, daño).

#### Procedimiento para el análisis de la información

Para el análisis de la información se siguió el siguiente procedimiento:

- Se procedió en primer lugar a verificar la calidad y veracidad de la información recolectada para lo cual se verifico que la muestra contara con los datos del autor, datos bibliográficos, referencias entre otros.
- Luego se determinó el tipo de documento y el tipo de contenido dentro del documento a analizar.
- Seguidamente se determinó las unidades de análisis donde se analizó una muestra de 29 documentos compuesto por artículos científicos y tesis de pregrado o postgrado.

- Luego se estableció como regla de selección primeramente los artículos cuya palabra fuera “DRON” y estuviera reflejada en el título. Como segundo criterio se seleccionaron los artículos o tesis que tuvieran la palabra “RPAS”, “VANT” O “FOTOGRAMETRIA”.
- Definida la muestra, se procedió analizar cada artículo utilizando para ello una matriz de análisis comparativo de los resultados de las investigaciones y poder determinar cuál metodología es más eficiente.
- Se determinó en cada una de las investigaciones analizadas los tipos de equipos que utilizaron para la evaluación del pavimento.
- Se analizó en cada investigación el tipo de falla que reportaban según el área de afectación, dentro de las que se destacan

### Tabla 8

*Tipos de Fallas más comunes encontradas en las investigaciones*

# de daño	Daño
1	Piel de cocodrilo
2	Exudación
3	Agrietamiento en bloque
4	Abultamiento y hundimientos
5	Corrugación
6	Depresión
7	Grieta de borde
8	Grietas de reflexión de junta
9	Desnivel carriel / Berma
10	Grietas longitudinales / transversales
11	Parcheo y acometida de servicios públicos
12	Pulimiento de agregados
13	Huecos
14	Cruce de vía férrea
15	Ahuellamiento
16	Desplazamiento
17	Grietas parabólicas
18	Hinchamiento
19	Desprendimiento de agregados

*Nota.* Adaptada de (Vargas, 2018; Vásquez, 2002). Pavement Condition Index (PCI),

Para pavimentos asfálticos y de concreto en carreteras.

Por último, en la presente investigación se consideraron los aspectos éticos para su elaboración, donde se tuvo como primera consideración que en la información obtenida se ha respetado las ideas de los autores para lo cual se han citado todas las fuentes consideradas en el texto respetando los derechos del autor. Como segunda consideración, los datos presentados no han sufrido alteraciones y son tomados de manera fiel a las fuentes originales consultadas. Como tercera consideración, las investigaciones que conforman la muestra han sido tomadas de repositorios de diferentes universidades siendo de libre descarga ya que no requiere de autorización previa. Finalmente, la investigación se desarrolló respetando las normas de citación para evitar el plagio.

### CAPÍTULO III. RESULTADOS

Los resultados de la revisión de la literatura mostraron una variedad en el uso de metodologías para la evaluación del pavimento, los cuales se presentan a continuación:

**Tabla 9**

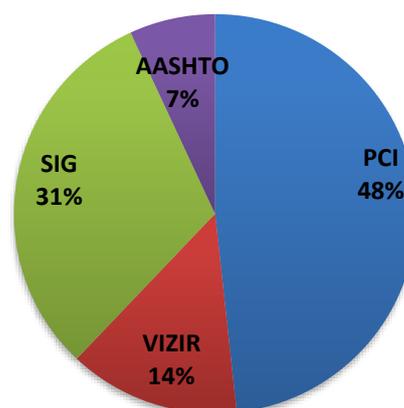
*Metodologías utilizadas para la evaluación del pavimento.*

Metodología	Cantidad	Porcentaje %
PCI	14	48
VICIR	4	14
SIG	9	31
AASHTO	2	7
<b>Total</b>	<b>29</b>	<b>100</b>

En la tabla 9, se puede observar que la metodología para la evaluación del pavimento más utilizada fue PCI con un 48%, seguida por los Sistemas de Información Geográfica con un 31%, el VICZI con un 14% y AASHTO con un 7%.

**Figura 1**

*Representación porcentual de las metodologías más utilizadas*



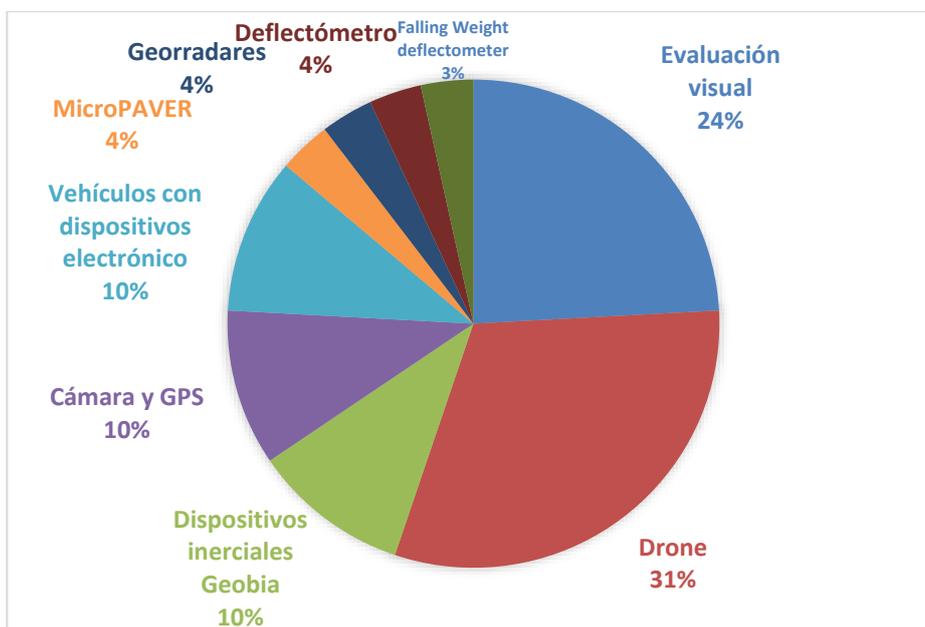
**Tabla 10**

*Equipos de medición para la evaluación del pavimento más utilizado.*

Equipos	Cantidad	Porcentaje %
Evaluación visual	7	23
Dron	9	31
Dispositivos inerciales Geobia	3	10
Cámara y GPS	3	10
Vehículos con dispositivos electrónico	3	10
MicroPAVER	1	4
Georradars	1	4
Deflectómetro	1	4
Falling Weight deflectometer	1	4
<b>Total</b>	<b>29</b>	<b>100</b>

**Figura 2**

*Representación porcentual de los equipos utilizados para la evaluación del pavimento.*



Se observa, que el uso del dron para la evaluación del pavimento es cada vez más utilizado por algunos investigadores con un 31% como apoyo para el cálculo del PCI, en comparación con la evaluación visual que alcanzo un 24%, mientras que los dispositivos inerciales Geobia, las Cámaras, los GPS y los Vehículos con dispositivos

electrónico alcanzaron un 10%. Lo cual muestra la diversidad de equipos que se utilizan durante la inspección.

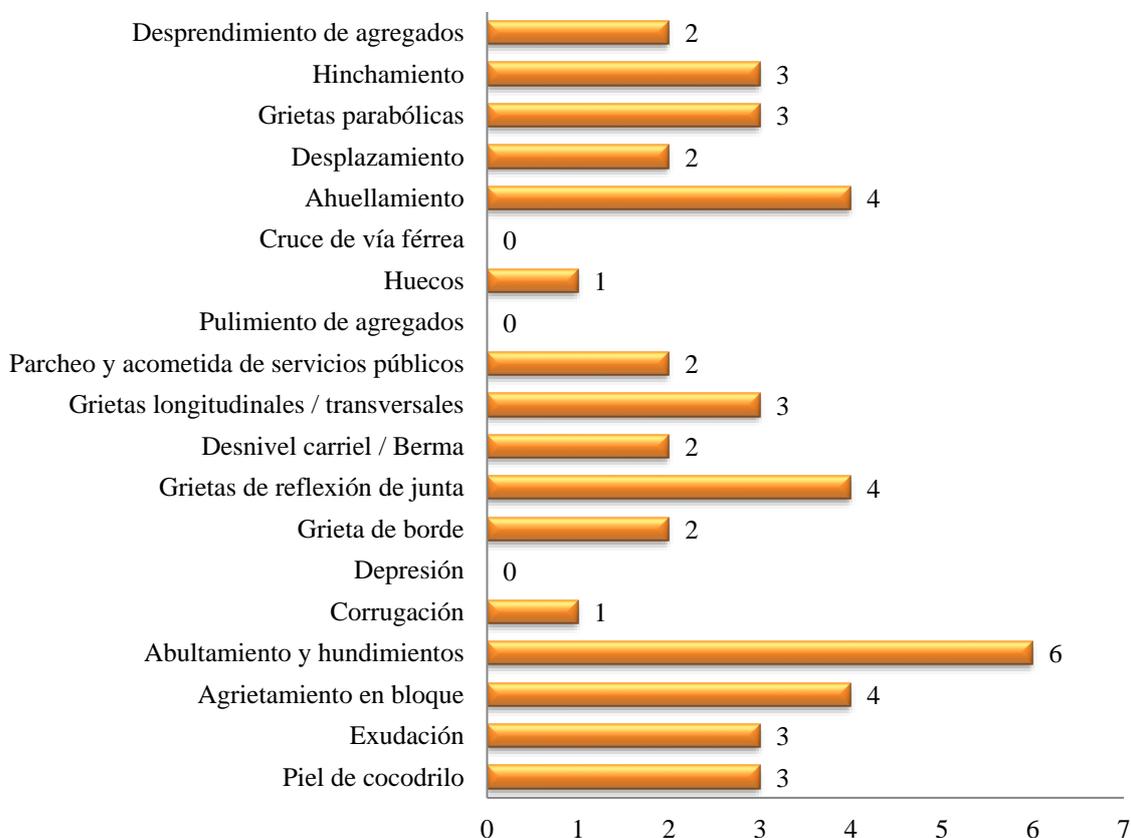
**Tabla 11**

*Tipos de fallas que reportan las investigaciones analizadas.*

# de daño	Daño	Cant. Fallas identificadas en las Investigaciones seleccionados
1	Piel de cocodrilo	3
2	Exudación	3
3	Agrietamiento en bloque	4
4	Abultamiento y hundimientos	6
5	Corrugación	1
6	Depresión	0
7	Grieta de borde	2
8	Grietas de reflexión de junta	4
9	Desnivel carriel / Berma	2
10	Grietas longitudinales / transversales	3
11	Parcheo y acometida de servicios públicos	2
12	Pulimiento de agregados	0
13	Huecos	1
14	Cruce de vía férrea	0
15	Ahuellamiento	4
16	Desplazamiento	2
17	Grietas parabólicas	3
18	Hinchamiento	3
19	Desprendimiento de agregados	2
	Total	45

**Figura 3**

*Representación de las Fallas reportadas en las investigaciones*



En la figura 3, se puede observar que la falla más común que se reportó fue el Abultamiento y hundimiento seguido por el agrietamiento en bloque, grietas de reflexión, piel de cocodrilo, seguido de grietas en el asfalto entre otras. El análisis de las investigaciones se no logro determinar una diferenciación significativa entre las investigaciones que reportan el uso de la metodología PCI, empleadas de forma convencional y utilizando el dron, ya que ambas cumplen la finalidad de la determinación de las fallas, según lo establecido en la normativa (Alcaldía Mayor de Santa Fé de Bogotá DC y Universidad de los Andes, 2011; Andrade et al., 2015; Arias, 2014; Dávila et al., 2017; Vásquez, 2002).

Resultados de la comparación de la metodología PCI aplicada de forma convencional o utilizando un dron

Para su comparación, se consideró el cumplimiento de los protocolos para seguridad, las ventajas y desventajas que garanticen la integridad tanto de los trabajadores, los mismos que se detallan a continuación en la tabla.

**Tabla 12**

*Protocolos de seguridad utilizados para la inspección del pavimento*

Descripción	Metodología convencional (MC)	Metodología usando un dron (MD)
Uso de equipos de protección personal y conos de seguridad en carretera	La MC necesita de protocolo de seguridad sobre todo la de señalización y conos en la vialidad.	La MD utiliza protocolos. pero con menor intensidad debido a que no es necesario el cierre
Seguridad pública y ética	La MC no garantiza la seguridad, tanto del transeúnte como de los trabajadores.	La MD garantiza la seguridad además de la necesidad de contar con permiso de las autoridades para sobrevolar a cierta distancia.
Seguridad del personal	La MC tiene un alto riesgo para la seguridad personal debido a que se expone a los trabajadores en el ejercicio de sus funciones	La MD el riesgo es bajo riesgo para los trabajadores debido a que no se exponen de manera directa en la inspección
Cierre de vía pública	En la MC, es necesario cerrar la vialidad debido a los trabajos a realizar para la evaluación del pavimento.	En la MD no es necesario cerrar la vía pública porque la inspección y toma de fotografía se realiza vía aérea.
Cantidad de personal expuesto	La MC necesita entre 3 a más personas que están expuestas a un alto riesgo al realizar la evaluación del pavimento, lo que implica un mayor gasto económico.	La MD requiere tan solo entre 2 a 3 personas para realizar la inspección para la evaluación del pavimento lo que implica un ahorro.
Necesidad de personal certificado	En la MC es necesario que el personal tenga experiencia y este calificado para realizar la evaluación.	En MD es necesario que el piloto del dron esté debidamente ser certificado para poder pilotear el dron.

Los resultados de la tabla 12, refleja que las evaluaciones de pavimento mediante la metodología PCI, aplicada de forma convencional, tienen un impacto directo en el usuario o transeúnte, debido a que, para su aplicación es necesario el cierre y desviación del tráfico lo cual genera malestar, además del peligro que corre el

personal encargado para su realización debido a que se expone a un atropellamiento, o accidente de tránsito (Cárdenas, Holguin y Zabala 2019; Cruz, 2018; González *et al.*, 2019). La norma ASTM D6433, indica que es responsabilidad del usuario de esta norma establecer practicas adecuadas de seguridad y salud.

### **Comparación de las ventajas de la metodología PCI aplicada de forma convencional o utilizando un dron.**

**Tabla 13**

*Ventajas y desventajas de la Metodología convencional vs la Metodología apoyada en un dron para la evaluación del pavimento*

<b>Descripción</b>	<b>Metodología convencional</b>	<b>Metodología apoyada en DRON</b>
<b>Avalada</b>	Es avalada internacionalmente y cuenta con reconocimiento.	Adoptado a partir de la norma ASTM D6433, Es avalada internacionalmente.
<b>Datos</b>	Cuenta con estándares internacionales avalados.	Eficiencia en la calidad de las imágenes. Mayor precisión de datos.
<b>Tiempo</b>	El tiempo de entrega de los resultados de las inspecciones pueden demorar más tiempo del previsto.	Reducción de los tiempos de entrega
<b>Tecnología</b>	Requiere apoyo de otros equipos para lograr mejores resultados.	Tecnología que ofrece un resultado de óptima condición y calidad.

En la tabla 13, se muestra los resultados de la comparación de las ventajas en ella se muestra que es avalada a nivel internacional, tanto a nivel convencional como no, las ventajas con el uso del dron la calidad de las imágenes es valorada, así como los datos y tiempo de precisión nivel de severidad del daño causado a la estructura de los pavimentos se puede realizar y esta puede ser evaluada con mayor precisión, en menor tiempo y con una posibilidad de almacenamiento para lograr resultados más

óptimos (Dávila et al., 2017; Ministerio de Transporte y Comunicaciones Perú, 2013; Yshiba y Fernandes Junior, 2005).

### **Comparación de las desventajas de la metodología PCI aplicada de forma convencional o utilizando un dron**

Los equipos utilizados para la evaluación del pavimento también presentan algunas desventajas que es importante resaltar dentro de la más resaltante se destacan:

**Tabla 14**

*Desventajas de los equipos*

<b>Equipos utilizados</b>	<b>Desventajas</b>
Dron	-Limitaciones de la Batería. -Legislación restrictiva. -Es más costoso.
Evaluación visual.	-Ausencia de equipos de auscultación.
Dispositivos inerciales con cámara, GPS, Smartphone, acelerómetro, giroscopio, brújula y un (GPS).	-Sesgo registrado en los datos debido a la forma de conducir del ciclista y la bicicleta utilizada.
Geobia.	-La calidad de la detección depende de la calidad de la imagen y la homogeneidad del asfalto.
Formato de registro de fallas	-Déficit presupuestario y falta de controles de calidad.
Vehículos con dispositivos electrónico	-Fallas de iluminación y sombras en las imágenes.
MicroPAVER	-Margen de error 1,17%.
Georradares	-Costos altos Errores de evaluación del pavimento por inadecuado procesamiento de la información.
Redes neuronales, sistemas difusos y algoritmos evolutivos	-Sensibilidad y limitación en el procesamiento de datos.
Falling Weight deflectometer	-Altos costos de mano de obra calificada.
Cámara de escaneo por área sostenida en un trípode acondicionado	-Fallas de iluminación y sombras en las imágenes.
Odómetro	-Dificultad para ubicar experto certificado en sensores.

Las desventajas que presentan los quipos destacan los altos costos para utilizarlos, dificultad para conseguir personal calificado, limitaciones de Batería, legislación restrictiva que limitan su uso (González *et al.*, 2019).

### **Matriz de Comparación de la Metodología PCI aplicada de forma convencional y con el uso de un dron**

Una vez analizado las investigaciones se procedieron a definir los criterios mediante los cuales se realizó la comparación, los mismos se detallan a continuación:

- ***Tiempo de inspección:*** se refiere al tiempo que se emplea en la evaluación del pavimento.
- ***N° de trabajadores para inspección:*** se refiere a la cantidad de personal que se necesita para realiza una evaluación del pagamiento aplicando la metodología PCI bien sea de manera convencional o mediante un dron.
- ***N° de muestras:*** Se refiera a la cantidad de muestras que existen en un determinado tramo.
- ***Reproducibilidad de los resultados:*** Se refiere a la posibilidad de almacenar y reproducir los resultados a futuro.
- ***Cierre de la vía:*** este atributo mide el impacto que ocasiona la necesidad del cierre de las vías de acceso para poder realizar las evaluaciones del pavimento mediante la metodología PCI.
- ***Posibilidad de realizar un post-análisis:*** se refiere a la posibilidad de realizar a posteriores el análisis de los datos.

Dichos criterios sirvieron para establecer las comparaciones de la aplicación de la metodología PCI de manera convencional o apoyada en un dron. Dichos resultados se presentan a continuación:

**Tabla 15**

*Matriz comparativa de metodología convencional vs la metodología apoyada en un dron para la evaluación del pavimento*

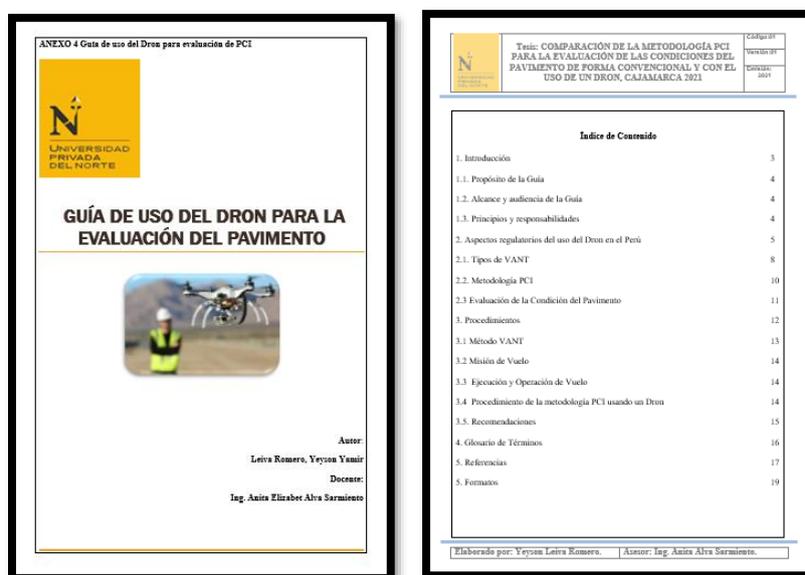
<b>Descripción</b>	<b>Metodología convencional</b>	<b>Metodología apoyada en DRON</b>
Tiempo de inspección	4-6 horas	1-5 horas
N° de trabajadores para inspección	3	1
N° de muestras inspeccionadas	7 muestras	13 muestras
Personal para inspección	24 horas - hombre	8 horas - hombre
Reproducibilidad de los resultados	NO	SI
Cierre de la vía	Si	NO
Posibilidad de realizar un post-análisis	No	Si

*Nota.* Comparación en base a una carretera de longitud de 520m y con una ancho de calzada de 6m, por ellos se ha tomado unidades de muestra es de 240m<sup>2</sup> cada una, dando un total de 13 unidades en tramos de 40 m. Adaptada de Cruz, (2018).

La metodología PCI convencional, es muy utilizada y no requiere de tecnología tan avanzada, y esto afecta su tiempo de ejecución, la cantidad de personal requerido y la imposibilidad de almacenar o reproducir los resultados. Mientras que el dron sirve de apoyo para realizar una labor acorde con los tiempos actuales. Aportando elementos que si son bien aprovechados se podría potencializar su uso en la Ingeniería Civil. Comparando los resultados obtenidos en la metodología PCI con y sin el uso de un dron, en la tabla 15, se tiene que, el uso de un dron requiere de menos personas y de igual forma requiere de menos tiempo para la entrega de resultado. Por otro, es menester destacar que, con el uso del dron se pudo inspeccionar las 13 unidades de muestra en menor tiempo.

## Resultados de una guía del uso de un dron en la metodología PCI

Para la evaluación del pavimento mediante la aplicación de la metodología PCI, las distintas investigaciones reportan procedimientos muy variados para el uso del dron, la cual se ve afectada por el tipo de normativa vigente, el tipo de tecnología a utilizar, la capacitación del operario, los recursos disponibles entre otros. En este sentido, se diseñó una Guía de uso de dron para la evaluación del pavimento flexible. El mismo, está basado en procedimientos aceptados tanto a nivel nacional como internacional, destacando el uso del dron para la evaluación del pavimento flexible.



El mismo está estructurado abordando aspectos como Alcance y la audiencia a la que va dirigida la Guía. Abordando aspectos regulatorios del uso del dron en el Perú, así como; Tipos de VANT, aspectos teóricos de la Metodología PCI, Evaluación de la Condición del Pavimento, Procedimientos, Método VANT; Misión de Vuelo, Ejecución y Operación de Vuelo, Recomendaciones. Que servirá de apoyo a futuros investigaciones, utilizando el dron.

## CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### **Discusión:**

En base a lo expuesto en el capítulo de resultados se puede inferir que, efectivamente el uso de un dron influye en la metodología PCI, con respecto a la metodología PCI de forma convencional, por los motivos que se describen a continuación.

En la Tabla 9, los resultados muestran que el método PCI ha sido uno de los más acertados y con mayor porcentaje de utilización a escala internacional con un 48%, debido a su flexibilidad conceptual y alcance práctico. Esto se evidencia en investigaciones como la de Zuluaga, (2019), el cual plantea mediante un modelo matemático, la valoración de la vía determinando la profundidad y densidad de las fallas, seguidamente se posicionan los Sistemas de Información Geográfica con un 31%, mientras que la metodología VIZIR presentó un 14% de aplicabilidad.

En la tabla 10, la revisión y análisis documental de las diversas investigaciones tendientes a comparar la metodología PCI apoyada en un dron y la aplicada de forma convencional encontró el 31% de las investigaciones utilizan el dron como apoyo a la metodología, evidenciando que sus resultados son significativos ya que permite disminuir los costos, la rapidez para obtener los resultados y la posibilidad almacenar la información. Estos resultados son equivalentes a los encontrados por González et al.,(2019), quienes realizaron una investigación y logran evidenciar poca variación al evaluar el pavimento usando un dron o de forma tradicional, las diferencias se evidenciaron en la posibilidad de almacenar los datos, el ahorro debido a que se utiliza menos personal y equipos y como desventaja se encontró que la batería es una de sus principales debilidades.

En la tabla 12, se muestra los protocolos que utiliza la metodología convencional y la metodología usando un dron; se puede apreciar que, la metodología usando un dron necesita con menor intensidad los protocolos de seguridad, brindando mayor seguridad a los trabajadores a comparación de la metodología convencional, que en seguridad personal tiene un alto riesgo debido a que se expone a los trabajadores en el ejercicio de sus funciones; además, la metodología usando un dron evita la exposición de los trabajadores a peligros.

Finalmente, en la tabla 13 y 14, como ventajas se obtuvieron que existe una reducción en el tiempo de entrega de resultados, mayor precisión de datos, eficiencia en la calidad de imágenes y es una tecnología que ofrece un resultado de óptima condición y calidad, como desventajas se obtuvo que existe una limitación de la batería del dron, teniendo una duración de 30 min.

En cuanto a las limitaciones que se presentaron al momento de seleccionar la información, existe una marcada limitación de información sobre la metodología PCI con el uso de un dron en el Perú, es por ello, que se tuvo que recurrir a la búsqueda de investigaciones de otros países. De igual manera, se encontraron diferentes procedimientos sobre el uso de un dron en la metodología PCI, es por ello, que con la información recabada se elabora una guía de uso que ayude a futuras investigaciones. Las investigaciones estudiadas presentaron como limitación, según la tabla 14, el costo de un dron, pero por lo novedoso y ventajoso que es un dron se han ido incorporando nuevos modelos al mercado, brindando que los drones sean de precios accesibles, además según las investigaciones analizadas no es necesario un dron de características muy elevadas. Otra limitación encontrada, fue la duración de la batería del dron, lo cual sería solucionado con baterías extras. Por último, se tiene la limitación de zona

restringida, por lo cual, la manipulación del dron debe realizarse por un piloto acreditado.

De igual forma, comparando los antecedentes de otros trabajos realizados y los resultados obtenidos en la presente tesis tenemos como primer antecedente a, Gonzáles et al., (2019) en su tesis titulada: “Drones, Aplicaciones en Ingeniería civil y geociencias”, este trabajo menciona que, en algunas circunstancias, la combinación de metodologías generalmente da buenos resultados, si se aplican de manera correcta tomando en consideración las precisiones alcanzables para los estudios que se lleven a cabo, lo que a comparación de nuestros resultados se confirma; ya que, el uso del dron en la metodología PCI, influye de forma positiva en el factor tiempo y seguridad.

Como segundo antecedente, Cruz y Gutiérrez (2019) en su artículo titulado: “Evaluación superficial de las vías urbanas empleando un vehículo aéreo No Tripulado (VANT)” menciona que, el uso del vehículo aéreo no tripulado permite el levantamiento de información en corto tiempo, sin interrumpir el tráfico ni poder en riesgo la vida de los inspectores en comparación con el método convencional, lo cual va de acorde con los resultados obtenidos en las investigaciones recopiladas.

Como tercer antecedente, Diaz (2019) en su tesis titulada: “Estudio preliminar sobre el uso de dron durante el proceso de pavimentación en caminos de asfáltico” indica que, la desventaja que presenta el uso de un dron en el área construcción vial son baja autonomía de vuelo que estos vehículos poseen relacionada al rendimiento de la energía almacenada en las baterías del dron, recomendando el uso de baterías adicionales, como solución de la limitación del uso de baterías.

Como implicancia de la investigación tenemos que el presente estudio ha realizado una comparación importante del uso de un dron en la metodología PCI en comparación de la metodología PCI convencional. Asimismo, podemos afirmar que, efectivamente la metodología PCI con el uso de un dron ayuda a optimizar tiempos de ejecución, da mayor seguridad y permite realizar una evaluación de todas las unidades de muestra en su totalidad, lo cual es evidenciado en las tablas 12 y 15. Por ese motivo, presento como un aporte la redacción de una guía de optimización que lleva por título “GUIA DE USO DEL DRON PARA LA EVALUACIÓN DEL PAVIMENTO ”, el cual fue elaborado en base a los resultados obtenidos en el presente estudio. Dicha guía tiene como finalidad, facilitar el proceso de la metodología PCI con el uso de un dron, dando una serie de pasos o procedimientos adecuados, ordenados y brindando recomendaciones. Para mayor conocimiento de toda esta información recomiendo revisar el Anexo 4 de esta investigación.

Además, a comentario propio en base a lo estudiado, recabado de las diferentes investigaciones, se recomienda utilizar un Phantom 4 o superior en razón a que, según Quispe Enrique (2019), obtuvo un GSD con una altura de vuelo de 30-50 metros 1 cm/pixel, lo cual cumple con lo requerido por la norma “Sociedad Americana para Pruebas y Materiales” (ASTM D6433), lo cual indica que debe existir una precisión de  $\pm 1$  ft (30mm).

## **Conclusiones:**

Luego de la revisión y análisis documental de las diversas investigaciones de la metodología PCI con el uso de un dron y la aplicada de forma convencional para determinar la influencia del uso de un dron en la evaluación de las condiciones del pavimento, esta investigación da por aceptada la hipótesis, ya que, el uso de un dron en la metodología PCI optimiza el tiempo de trabajo, mejora la calidad de fotos, la posibilidad de almacenar los datos y por la seguridad que brinda al evaluador.

Por otro lado, se cumplió con el objetivo principal, luego de la revisión y análisis documental de las diversas investigaciones tendientes a comparar la metodología PCI con el uso de un dron y la aplicada de forma convencional para determinar la influencia del uso de un dron en la evaluación de las condiciones del pavimento.

De igual manera, se cumplió con los objetivos específicos, ya que, se realizó una revisión sobre los aspectos referentes a la evaluación del pavimento con la metodología PCI, dicha información fue de utilidad para llevar a desarrollar el estudio.

En vista de lo revisado se realizó un aporte mediante la implementación de una guía que ayude en el procedimiento de la evaluación del pavimento con el uso de un dron, ofreciendo un aporte a futuros estudiantes que deseen incursionar en su uso.

(Ver anexo 4)

## REFERENCIAS

- Agencia Estatal de Seguridad Aerea. (2020). *Guía para operadores de RPAS sobre Procedimientos de: Habilitación y Autorización*. España.
- Alcaldía Mayor de Santa Fé de Bogotá DC, y Universidad de los Andes. *Manual de instrumentación de pavimentos*. , (2011).
- Andrade, C., Andrade, I., y Rufino, J. (2015). Metodología de análisis de la condición del pavimento a partir del cuenco de deflexión. *Infraestructura Vial*, 17(29), 24–32.
- Arias, C. (2014). *Diagnóstico de vías de la red vial pavimentada del catón de Alajuela como parte de un sistema de gestión de pavimentos*.
- Bobenrieth, M. (2002). Normas para revisión de artículos originales en ciencias de la salud. *International Journal of Clinical and Health Psychology*, 2(3), 509–523.
- Cárdenas, D., Holguin, O., y Zabala, S. (2019a). *Auscultación visual realizada mediante el drone DJI PHANTOM 4 PRO, con implementación de metodologías VIZIR y PCI para pavimentos flexibles e la carrera 69 Sur entre la Avenida Primera de Mayo y calle 19A Sur Barrio Villa Claudia Ciudadana de Bogotá*. Universidad Piloto de Colombia.
- Cárdenas, D., Holguin, O., y Zabala, S. (2019b). *Auscultación visual realizada mediante el Drone DJI PHANTOM 4 PRO con implementación de metodologías VIZIR Y PCI para pavimentos flexibles en la carrera 69B CIUDAD BOGOTA*. UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBA.
- Cardona, C., y Restrepo, A. (2016). *Herramientas de control lista de chequeo*. Retrieved from [www.puntosdeencuentro.weebly.com](http://www.puntosdeencuentro.weebly.com)
- ControlDron.com. (2016). *Manual de operaciones de Drones* (pp. 447–451). pp. 447–451. <https://doi.org/10.5377/rpsp.v5i2.2331>
- Corral, Y. (2010). Diseño de cuestionarios para recolección de datos. *Revista Ciencias de La Educación*, (36), 152–168.

- Cruz, J. (2018). *Aplicación de los drones para el control y monitoreo de pavimentos con fines de conservación*. Perú.
- Cruz, J., y Gutierrez, J. (2019). Evaluación superficial de vías urbanas empleando Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT). *Métodos y Materiales*, 8(2215–455), 23–32.
- Dávila, D., Huangal, N., y Salazar, W. (2017). *Aplicación del método del PCI en la evaluación superficial del pavimento rígido de la vía canal de la avenida Chiclayo Distrito José Leonardo Ortiz Provincia De Chiclayo Periodo 2016*.
- Díaz, E. (2019). Estudio preliminar sobre el uso de dron durante el proceso de pavimentación en caminos de asfáltico. *Universidad de Concepción*, 1–55.
- Drone Guru. (2020). Nueva normativa europea de drones 2020. Retrieved July 14, 2020, from <https://www.droneguru.es/nueva-normativa-europea-para-drones/>
- García, U., Márquez, J., Sánchez, M., y Sabino, B. (2016). Detección y evaluación de daños en pavimento asfáltico mediante procesamiento de imágenes digitales. *Revista de Aplicación Científica y Técnica*, 2(5), 12–18. Retrieved from [www.ecorfan.org/spain](http://www.ecorfan.org/spain)
- González, H. (2019). Propuesta de metodología para la evaluación de pavimentos mediante el Índice de Condición de Pavimento (PCI). *REDALYC*, 1, 16.
- González, H., Ruíz, P., y Guerrero, D. (2019). Propuesta de metodología para la evaluación de pavimentos mediante el Índice de Condición de Pavimento. *Ciencia En Su Pc*, 1, 58–71.
- González, R., Ucán, J., Sánchez, I., Medina, R., Árcega, F., Zetina, C., y Casares, R. (2019). Drones. Aplicaciones en ingeniería civil y geociencias. *Interciencias*, 44(June), 326–332.
- Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6ta ed.). México.
- Lizcano, F. R., y Rojas, L. M. (2012). Comportamiento hidráulico, beneficios y limitaciones

de la aplicación de un SDGA a una estructura de pavimento flexible. *Infraestructura Vial*, 13(24), 17–21.

Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC). (2019). MTC: Conoce los requisitos para operar un drone. Retrieved July 13, 2020, from Nota de Prensa website: <https://www.gob.pe/institucion/mtc/noticias/50511-mtc-conoce-los-requisitos-para-operar-un-drone>

Ministerio de Transporte y Comunicaciones Perú. *Manual de carreteras. Suelos, geología, goetecnia y pavimentos.*, (2013).

Miro, R., Centeno, M., Martínez, A., y Pérez, F. (2007). Evaluación de los métodos de reciclado y rehabilitación de firmes a partir del análisis de los tramos experimentales dle proyecto europeo PARAMIX. *Infraestructura Vial*, 18, 15–23. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91117204>

MTC - NTC 001. (2015). *Requisitos para las Operaciones de Sistemas de Aeronaves Pilotadas a Distancia* (pp. 1–12). pp. 1–12.

MTC Ley N° 30749. (2018). *Regulación del uso y operaciones de los sistemas de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS)*.

Norma ASTM D6433-03. *Procedimiento Estándar para la Inspección del Índice de Condicion del Pavimento en Caminos y Estacionamientos.*, (2005).

Norma CE.010. Pavimentos Urbanos. , Reglamento Nacional de Edificaciones (2010).

Otzen, T., y Manterola, C. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *Int. J. Morphol*, 35(1), 227–232.

Piatti, E., y Lerma, J. (2013). Virtual worlds for photogrammetric image based simulation and learning. *Photogrammetric Record*, 28(141), 27–42. <https://doi.org/10.1111/phor.12001>

Picado, G. (2016). Desarrollo de curvas de deterioro para pavimento flexible y factor de

- incertidumbre. *Infraestructura Vial*, ISSN 1409-4045, ISSN-e 2215-3705, Vol. 18, N<sup>o</sup>. 31, 2016, Págs. 30-38, 18(31), 30–38. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5793106>
- Pino, E. (2019). Los drones una herramienta para una agricultura eficiente: un futuro de alta tecnología. *Idesia*, 37(1), 75–84.
- Pinzón, J. (2017). *Drones en las Geociencias. Guía de implementación en la Cartografía*. UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA.
- Rondón, H., y Reyes, F. (2007). Metodologías de diseño de pavimentos flexibles : Tendencias , alcances y limitaciones. *Design*, 17, 41–65.
- Ruitón, M. (2018). *Aplicación de los métodos VIZIR y PCI y su incidencia e la evaluación del estado de la carretera San Marcos Ichuacan:2018*. Universidad Privada del Norte.
- Serna, I., y Herrera, J. (2019). Detección de baches en vías urbanas a partir de imágenes de alta resolución espacial, mediante técnicas de GEOBIA. *Revista de Topografía Azimut*, 1(10), 1–11.
- Tajadura, R. del B. (2018). Uso de drones en la inspección para la rehabilitación del patrimonio Iglesia de la merced (Vol. 1). Retrieved from <http://www.tesisenred.net/handle/10259/4804>
- Valdés, L., y Alonso, A. (2017). Catálogo de deterioros de pavimentos flexibles en aeropuertos para Cuba. *Revista Arquitectura e Ingeniería*, 11(2), 2.
- Vargas, C. (2018). *Análisis comparativo de la inspección visual de un pavimento flexible, por los métodos tradicional y por sensores remotos en un kilómetro de la calle séptima en el municipio de cajica cundinamarca*. UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA.
- Vásquez, L. (2002). *Pavement Condition Index (PCI) Para Pavimentos Asfálticos y de Concreto en Carretera. Colombia: INGPAV*. Colombia.

- Yshiba, J. K., y Fernandes Junior, J. L. (2005). Modelos estadísticos para previsão de desempenho de pavimentos. *Acta Scientiarum. Technology*, 27(2), 181.  
<https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v27i2.1481>
- Zuluaga, S. (2019). *Sistema de clasificación de severidad de daños en pavimentos flexibles para determinar posibles intervenciones*.
- Mtc. (2013). *Manual de Carreteras. Conservación Vial. (Volumen 1, 2 y 3)*. Lima: MTC.
- Oblitas, J. (2018). *Guía de Investigación Científica 2018*. Lima: Universidad del Norte.
- Valderrábano, M., Henández, R., y Trujillo, M. (2004). La Revisión Documental. Herramienta Fundamental de la Investigación Científica. *Innovación Educativa*, 15-31.

## ANEXO 1. Matriz de Consistencia.

Titulo	Formulación del Problema	Objetivo General	Objetivos específicos	Instrumentos
COMPARACIÓN DE LA METODOLOGÍA PCI PARA LA EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DEL PAVIMENTO DE FORMA CONVENCIONAL Y CON EL USO DE UN DRON.	¿Cómo influye el uso de un dron en la evaluación de las condiciones del pavimento en comparación a realizarlo de forma convencional?	Comparar la metodología PCI para la evaluación de las condiciones del pavimento utilizada de forma convencional y con el uso de un dron.	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Realizar una revisión documental sobre los aspectos referentes a la evaluación de pavimentos con la metodología PCI.</li> <li>● Desarrollar una matriz comparativa a partir de los resultados obtenidos en las investigaciones de los últimos 10 años donde se utiliza las metodologías PCI de forma tradicional vs los resultados de investigaciones que utilicen el método PCI con el uso de un dron.</li> <li>● Elaborar una guía o manual de procedimientos para el uso de metodología PCI usando un dron, para la evaluación de las condiciones del pavimento.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Formato de extracción de datos Documentales.</li> <li>● Lista de verificación validez de la información</li> <li>● Matriz de análisis comparativo de la Metodología PCI tradicional y PCI apoya en un dron.</li> </ul>

**ANEXO 2 Ficha de Registro de Datos de las Investigaciones seleccionadas.**

 <b>COMPARACIÓN DE LA METODOLOGIA PCI PARA LA EVALUACION DE LAS CONDICIONES DEL PAVIMENTO DE FORMA CONVENCIONAL Y CON EL USO DE UN DRON, CAJAMARCA 2021</b>					
<b>FICHA DE REGISTRO DE DATOS INVESTIGACIONES SELECCIONADAS</b>					
<b>N°</b>	<b>Autores</b>	<b>Año</b>	<b>Título de la investigación</b>	<b>País</b>	<b>Datos de la revista</b>
1	González, H Ruíz, P. Guerrero, D.	2020	Propuesta de metodología para la evaluación de pavimentos mediante el Índice de Condición de Pavimento	Cuba	Ciencia en su PC, vol. 1, núm. 4, 2019, enero-marzo pp. 58-71
2	Baque, B	2020	Evaluación del estado del pavimento flexible mediante el método del PCI de la carretera puerto-aeropuerto (Tramo II), Manta. Provincia de Manabí	Ecuador	Revista científica Dom. Cien., ISSN: 2477-8818 Vol. 6, núm. 2, abril-junio
3	Cárdenas, R Holguin, O Zabala, S	2019	Auscultación visual realizada mediante el dron DJI PHANTOM 4 PRO, con implementación de metodologías VIZIR y PCI para pavimentos flexibles en la carrera 69B Sur entre la avenida Primeri de mayo y Calle 9 A Sur - Barrio Villa Claudia - Ciudad Bogotá	Colombia	Tesis de grado Universidad Piloto de Colombia. Facultad de Ingeniera
4	Valle, M Herrera, J.	2019	Uso de datos pasivos obtenidos mediante dispositivos inerciales para inferir la condición del pavimento en ciclo vías	Chile	Revista Ingeniería de Construcción RIC Vol 34 N°1
5	Serna, I. Herrera, J.	2019	Detección de baches en vías urbanas a partir de imágenes de alta resolución espacial, mediante técnicas de GEOBIA	Colombia	Revista de topografía Azimut
6	Díaz. E.	2019	Estudio preliminar sobre el uso de dron durante el proceso de pavimentación en caminos de asfalto	Chile	Tesis de grado
7	Reyes, Mejía, Marcela Useche Castelblanco,	2019	Técnicas de inteligencia artificial utilizadas en el procesamiento de imágenes y su aplicación en el análisis de pavimentos	Colombia	Revista EIA ISSN: 1794-1237
8	Cruz, J Gutiérrez, J.	2019	Evaluación superficial de vías urbanas empleando Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT)	Perú	Métodos y Materiales LanammeUCR ISSN electrónico: 2215-4558 Volumen 8

9	González, R. Ucán, J. Sánchez, I	2019	Drones. Aplicaciones en Ingeniería Civil y Geociencias	Venezuela	Interciencias Vol.  44
10	Vargas, C.	2018	Análisis comparativo de la inspección visual de un pavimento flexible, por los métodos tradicional y por sensores remotos en un kilómetro de la calle séptima en el Municipio de Cajicá Cundinamarca	Colombia	Tesis de grado Universidad Militar Nueva Granada Facultad de Ingeniería Civil
11	Butos, H. Gil, R.	2018	Geomática aplicada en la auscultación del pavimento flexible: Caso de aplicación	Colombia	Encuentro Internacional de Educación en Ingeniería
12	Silva, A. Daza, O. López, L.	2018	Gestión de pavimentos basados en Sistemas de Información Geográfica (SIG): Una revisión	Colombia	Ingeniería Solidaria ISSN (en línea): 2357-6014 Vol. 14, No. 26
13	Ruitón, M.	2018	Aplicación de los métodos VIZIR y PCI y su incidencia e la evaluación del estado de la carretera San Marcos Ichuacan:2018	Perú	Tesis de grado Universidad Privada del Norte
14	Herrera, Jorge Serna, Ivan	2017	Metodología para la detección de huecos o baches en Vías terciarias urbanas a partir de imágenes de alta resolución espacial, usando técnicas de Geobia y Lógica difusa	Colombia	Tesis de grado Universidad Distrital Francisco José de Caldas
15	Pérez, H. Benítez, E. Díaz, M.	2017	Sistema de georeferenciado de imágenes con drones	México	Ra Ximhai, vol. 13, núm. 3, julio- diciembre pp. 65- 77
16	Quispe, S.	2017	Vulnerabilidad de la infraestructura vial ante el incremento del parque automotor en la ciudad de Cajamarca	Perú	Tesis Maestría
17	Valdés, L. Alonso, A.	2017	Catálogo de deterioros de pavimentos flexibles en aeropuertos para Cuba.	Cuba	Revista Arquitectura e Ingeniería. Vol. 11 ISUSE 2
18	Quispe, Omar	2020	Evaluación de confiabilidad del drone phaton 4 pro v2.0 para calcular el índice de condición del pavimento flexible en A.V. Miraflores del distrito de comas, lima-2020	Perú	Tesis de Grado
19	García, U. Márquez, J. Sánchez, M. Sabino, B.	2016	Detección y evaluación de daños en pavimento asfáltico mediante procesamiento de imágenes digitales	México	Revista de Aplicación Científica y Técnica Septiembre Vol.2 No.5 12-18

20	Dávila, D. Huangal, N. Salazar, W	2016	Aplicación del método del PCI en la evaluación superficial del pavimento rígido de la vía canal de la avenida Chiclayo Distrito José Leonardo Ortiz Provincia De Chiclayo Periodo 2016	Perú	Tesis de Grado
21	Thenoux, G. Gaete, R.	2016	Evaluación técnica del pavimento y comparación de métodos de diseño de capas de refuerzo asfáltico	Chile	Revista de Ingeniería Internacional
22	Sotil, A.	2016	Sistematización de información sobre diseño, construcción y reparación de pavimentos urbanos	Perú	Interciencias Vol. 34
23	Picado, Greivin	2016	Desarrollo de curvas de deterioro para pavimento flexible y factor de incertidumbre	Costa Rica	Revista Infraestructura Vial. Vol 18
24	Macea, L. Morales, L. Márquez, L.	2015	Un sistema de gestión de pavimentos basado en nuevas tecnologías para países en vía de desarrollo	Colombia	Ingeniería Investigación y Tecnología, volumen XVII (número 2), abril-junio 2016: 223-235 ISSN 1405-7743 FI-UNAM (artículo arbitrado)
25	Porras, H Ramón, J Mejía, Y	2014	Sistemas automáticos para la adquisición de datos enfocados a examinar pavimentos flexibles	Colombia	Ciencia e Ingeniería Neogranadina ISSN 0124-8170
26	Andrade, C. Machado, I. Rufino, J.	2014	Metodología de análisis de la condición del pavimento a partir del cuenco de deflexión	Angola	Revista Infraestructura Vial Lanamme UCR ISSN: 2215-3705, Volumen 17. Número 29 junio, 2015 p.p. 24-32
27	Porras, H. Castañeda, E. Sanabría, D. Duván, Y. Medina, G.	2012	Detección automática de grietas de pavimento asfáltico aplicando características geométricas y descriptores de forma	Colombia	Inge Cuc. Vol. 8
28	Liscano, R Rojas, L.	2012	Comportamiento hidráulico, beneficios y limitaciones de la aplicación de un SDGA a una estructura de pavimento flexible	Colombia	Infraestructura Vial Vol. 13
29	Montoya, J.	2010	Implementación del Sistema de Gestión de Pavimentos con Herramienta HDM-4 para la Red Vial Nro. 5 Tramo Ancón – Huacho – Pativilca.	Perú	PCI

### ANEXO 3 Formato de Matriz Comparativa

COMPARACIÓN DE LA METODOLOGÍA PCI PARA LA EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DEL PAVIMENTO DE FORMA CONVENCIONAL Y CON EL USO DE UN DRON, CAJAMARCA 2021																	
FICHA DE DATOS DE REGISTRO DE INFORMACION DE LAS INVESTIGACIONES SELECCIONADAS																	
Nº	Autores	Año	Titulo de la investigación	Pais	Datos de la revista	Metodología para evaluar	Instrumento equipo de medición	Procedimiento o Protocolo que llevo a cabo el investigador	Especificaciones del equipo	Limitaciones o desventajas	Distancia de la carretera	Altura de vuelo	Tiempo de vuelo	Protocolo de seguridad	Rutas seleccionadas / tramos	PCI promedio	Condiciones del pavimento
1																	
2																	
3																	
4																	
5																	
6																	
7																	
8																	
9																	
10																	
11																	
12																	
13																	
14																	
15																	
16																	
17																	
18																	
19																	
20																	
21																	
22																	
23																	
24																	
25																	
26																	
27																	
28																	
29																	

Página 1



**UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE**

# **GUÍA DE USO DEL DRON PARA LA EVALUACIÓN DEL PAVIMENTO**

---



**Autor:**

**Leiva Romero, Yeyson Yamir**

**Docente:**

**Ing. Anita Elizabet Alva Sarmiento**



**Tesis: COMPARACIÓN DE LA METODOLOGÍA PCI  
PARA LA EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DEL  
PAVIMENTO DE FORMA CONVENCIONAL Y CON EL  
USO DE UN DRON, CAJAMARCA 2021**

**Código:01**

**Versión:01**

**Emisión:  
2021**

**Índice de Contenido**

1. Introducción	3
1.1. Propósito de la Guía	4
1.2. Alcance y audiencia de la Guía	4
1.3. Principios y responsabilidades	4
2. Aspectos regulatorios del uso del dron en el Perú	5
2.1. Tipos de VANT	8
2.2. Metodología PCI	10
2.3 Evaluación de la Condición del Pavimento	11
3. Procedimientos	12
3.1 Método VANT	13
3.2 Misión de Vuelo	14
3.3 Ejecución y Operación de Vuelo	14
3.4 Procedimiento de la metodología PCI usando un dron	14
3.5. Recomendaciones	15
4. Glosario de Términos	16
5. Referencias	17
5. Formatos	19

**Elaborado por: Yeyson Leiva Romero.**

**Asesor: Ing. Anita Alva Sarmiento.**



**Tesis: COMPARACIÓN DE LA METODOLOGÍA PCI PARA LA EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DEL PAVIMENTO DE FORMA CONVENCIONAL Y CON EL USO DE UN DRON, CAJAMARCA 2021**

Código:01

Versión:01

Emisión:  
2021

## **1. Introducción**

La presente guía, se basa en la investigación: **“COMPARACIÓN DE LA METODOLOGIA PCI PARA LA EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DEL PAVIMENTO DE FORMA CONVENCIONAL Y CON EL USO DE UN DRON, CAJAMARCA 2021”**, realizado por el Bach. Ing. Civil Leiva Romero, Yeyson Yamir, la cual busca ser una base o guía de futuras investigaciones que aborden un mismo o similar elemento de estudio.

En la actualidad el uso de drones en diversas áreas y según el trabajo a realizar, ha tenido gran relevancia y cada día son más utilizados para apoyar los procesos de control y supervisión de las diferentes actividades. Estos han tenido una gran aceptación gracias al apoyo significativo en las labores que se realicen debido a su versatilidad en el uso. Muchas veces los drones son utilizados para el acceso a zonas inaccesibles o de difícil acceso, brindando mayor seguridad a los trabajadores en la obtención de dato.

Ya es un hecho, que el uso de drones esté instalado en la sociedad desde hace varias décadas, y ha sido muy diversa su utilización desde un uso con motivos recreativos como para uso de la agricultura, defensa civil, bomberos, construcciones civiles, entre otros. Su uso de drones se ha instaurado en nuestra sociedad. Desde hace varios años se han utilizado en sectores y actividades muy diversas y actualmente se sigue experimentando y buscando nuevos usos y adaptaciones para estos vehículos aéreos no tripulados. Todo esto, ha traído la necesidad de que las naciones creen normativas regulatorias para su uso, ajustando los

**Elaborado por: Yeyson Leiva Romero.**

**Asesor: Ing. Anita Alva Sarmiento.**



**Tesis: COMPARACIÓN DE LA METODOLOGÍA PCI  
PARA LA EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DEL  
PAVIMENTO DE FORMA CONVENCIONAL Y CON EL  
USO DE UN DRON, CAJAMARCA 2021**

Código:01

Versión:01

Emisión:  
2021

requerimientos a las necesidades específicas de cada país. En el campo de la Ingeniería Civil, el dron ha sido de gran ayuda para la inspección de obras civiles como construcciones, estudios geográficos, cartografía y más recientemente en el uso de evaluación de pavimentos, esto gracias a la precisión y definición de sus imágenes, así como la posibilidad de alcance, almacenamiento y proceso a posteriori de la información recolectada, debido a sus posibilidades y soluciones visuales en cualquier tipo de acontecimiento su procesos son comparativamente sencillos y manejables en concordancias con otras metodologías.

### **1.1. Propósito de la Guía**

Proporcionar un instrumento técnico – administrativo, que facilite los procedimientos a seguir en el uso del dron para la evaluación del Pavimento con la metodología PCI.

### **1.2. Alcance y audiencia de la Guía**

La guía está destinada a los estudiantes de Ingeniería Civil, profesionales y cualquier persona interesada en uso de drones para la inspección, control y evaluación de obras. Se espera que la misma sirva de orientación para aclarar dudas o de referencia para futuras investigaciones. Además de ofrecer algunas directrices generalizadas basada en normativas tanto nacional como internacional.

### **1.3. Principios y responsabilidades**

La gestión de sistemas de aeronaves piloteada remotamente, se apegará a tres principios básicos:

1. En el ejercicio de las funciones se debe considerar la seguridad de la navegación aérea como la consideración más importante.

**Elaborado por: Yeyson Leiva Romero.**

**Asesor: Ing. Anita Alva Sarmiento.**



**Tesis: COMPARACIÓN DE LA METODOLOGÍA PCI PARA LA EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DEL PAVIMENTO DE FORMA CONVENCIONAL Y CON EL USO DE UN DRON, CAJAMARCA 2021**

Código:01

Versión:01

Emisión:  
2021

2. Cuando sea posible, las operaciones RPAS deben estar equipadas con medios aceptables para los procedimientos de comunicación y navegación, requisitos indispensables para operar en el espacio aéreo.

3. Se establecerá una premisa de riesgo para la integración del RPAS. Esto incluirá:

- a) La aplicación de herramientas y técnicas de gestión de riesgos, y la consideración de los factores humanos.
- b) El desarrollo de metodologías de segregación específicas de RPAS, por medio de normas y procedimientos aplicables, para los RPAS que no cumplan con la capacidad de ofrecer información de navegación en tiempo real, utilizando un sistema de navegación aprobado (Controldron.com, 2016. p. 6).

En cuanto a las responsabilidades, los ciudadanos que deseen hacer uso de los RPAS deberán conocer la legislación aeronáutica vigente, la ley de navegación área específica del país. Realizar de manera responsable los certificados que lo acrediten para operar RPAS y cumplir con los requisitos según la tipología de los sistemas pilotados remotamente y la regulación vigente en el país.

## **2. Aspectos regulatorios del uso del dron en el Perú**

En el año 2018 se promulga la ley que regula el uso y las operaciones de las aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), en el cual se puntualiza lo siguiente:

### **Artículo 2. Licencias, requisitos y limitaciones**

2.1. El Ministerio de Transportes y Comunicaciones, a través de la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC), es el ente encargado de otorgar las licencias a las personas naturales o jurídicas u organizaciones civiles para el uso de aeronaves pilotadas a distancia (RPA) y de regular los requisitos y limitaciones para las operaciones de los sistemas de aeronave pilotada a distancia (RPAS).

2.2. Todas las operaciones de los sistemas de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS) para uso civil, diferentes a la práctica aerodeportiva o recreativa, hechas por personas naturales o jurídicas u organizaciones civiles requieren de la licencia otorgada por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones a través de la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC).

**Elaborado por: Yeyson Leiva Romero.**

**Asesor: Ing. Anita Alva Sarmiento.**



**Tesis: COMPARACIÓN DE LA METODOLOGÍA PCI PARA LA EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DEL PAVIMENTO DE FORMA CONVENCIONAL Y CON EL USO DE UN DRON, CAJAMARCA 2021**

Código:01

Versión:01

Emisión:  
2021

2.3. Toda persona natural o jurídica u organización civil que opere un sistema de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS), para uso diferente a la práctica aerodeportiva o recreativa, debe contar con una licencia de operador/piloto, que es otorgada por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones a través de la Dirección General de Aeronáutica Civil (DGAC) (MTC Ley N° 30749, 2018, p. 2).

Así mismo, la Norma Técnica Complementaria (MTC - NTC 001, 2015), señala que toda persona tanto natural como jurídica que desee sobrevolar una aeronave pilotada a distancia deben cumplir con los siguientes requisitos:

1. **Registrarlo.** El operador de un drone solicitará a la Dirección de Certificaciones y Autorizaciones de la DGAC una tarjeta de registro en la que dejará constancia de los datos del equipo. Este documento se solicita de manera presencial en la sede central del MTC (Jr. Zorritos 1203, Cercado de Lima) o en los Centros de Atención al Ciudadano que el sector tiene en las regiones. Este trámite toma 48 horas.
2. **Acreditar al piloto.** La DGAC habilitará a un ciudadano como operador de drone siempre y cuando este haya sido capacitado y certificado por un Centro de Instrucción de Aviación Civil o una institución aerodeportiva acreditada por el ministerio. Y, además, apruebe la evaluación teórica tomada por la Coordinación de Licencias Aeronáutica.
3. **Solicitar permiso para sobrevuelo.** No hay restricción para el sobrevuelo en zonas rurales. Sin embargo, si se desea manipular un drone en un área urbana, el piloto deberá solicitar anticipadamente un permiso al MTC. El documento deberá ser ingresado por mesa de partes -dirigido a la DGAC- indicando fecha, hora y coordenadas en las que hará uso del dispositivo.

El cumplimiento de estos requisitos garantiza la seguridad de las personas, evita interferencias en las operaciones de los usuarios del espacio aéreo y daños a la propiedad privada.

Está prohibido el sobrevuelo de drones en zonas restringidas, como Palacio de Gobierno, áreas militares, aeropuertos, centros arqueológicos y áreas naturales protegidas, salvo autorización de las entidades correspondientes (Ministerio de Transporte y Comunicaciones MTC, 2019, p. 2)

Así mismo se debe considerar algunos lineamientos de la normativa internacional que dan lineamientos para las naciones se mantenga en constante revisión de sus normativas,



**Tesis: COMPARACIÓN DE LA METODOLOGÍA PCI PARA LA EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DEL PAVIMENTO DE FORMA CONVENCIONAL Y CON EL USO DE UN DRON, CAJAMARCA 2021**

Código:01

Versión:01

Emisión:  
2021

brindando un aporte adicional a los países como la circular publicada por la Organización de Aviación Civil Internacional conocida por sus siglas (OACI, 2011) identificada con el Nr. 328, para sistemas de aeronaves no tripuladas. Y más reciente la Normativa comunitaria sobre operaciones con UAS en la cual se plantea que:

- Los pilotos deberán tener una edad mínima de 16 años, salvo para drones de juguete con peso inferior a 250 g o que estén acompañados de un adulto.
- Todos los pilotos de drones con un peso superior a 250 g deberán disponer de una formación certificada por la autoridad competente en tal caso que cubren diferentes niveles y modalidades como veremos a continuación. Esta certificación variará en función del peso del dron.
- Este reglamento define la responsabilidad del piloto de UAS respecto a la seguridad, protección, privacidad, protección de datos y protección del medio ambiente, entre otros aspectos.
- El uso de drones de más de 250 g exige estar dado de alta como operador o piloto registrado, independientemente de que el vuelo sea recreativo o profesional.
- Podrá actuar como operadora una persona física o jurídica. En el caso de las personas físicas, tendrán que estar registradas en su país de residencia y miembro de la UE. En el caso de personas jurídicas, la operadora tendrá que estar registrada en aquel país donde desarrolle su actividad económica.
- Todas las normas y procedimientos estarán enfocadas a atenuar el riesgo en función de: El riesgo y la Naturaleza de la Operación; Las Características Operacionales de la Aeronave y Las Características de área de operaciones. (Drone Guru, 2020, p. 9).

### **2.1. Tipos de VANT**

Los vehículos aéreos no tripulados (VANT), pueden ser tanto aéreos, como terrestres o acuáticos, y se logran clasificar de la siguiente manera:

#### **Tabla 1**

**Elaborado por: Yeyson Leiva Romero.**

**Asesor: Ing. Anita Alva Sarmiento.**

### Clasificación de los tipos de Drones

Clasificación en cuanto a:	Descripción
<b>Uso</b>	<p><b><i>Drones militares.</i></b> Suelen ir armados y con capacidad de bombardeo, aunque otras veces son únicamente para espionaje.</p>
	<p><b><i>Drones civiles.</i></b> Son aquellos que no tienen uso militar y a su vez pueden ser: drones de uso comercial, para la venta de servicios como la fotogrametría, multimedia, etc.; drones para aficionados, para su uso como hobby; drones de uso gubernamental, para las fuerzas del estado, bomberos, rescate, etc.</p>
<b>Tipo de control</b>	<p><b><i>Autónomo.</i></b> No necesita de un piloto humano que lo controle desde tierra. Se guía por sus propios sistemas y sensores integrados.</p>
	<p><b><i>Monitorizado.</i></b> En este caso sí se necesita de un técnico humano. La labor de esta persona es proporcionar información y controlar el feedback del dron. El dron dirige su propio plan de vuelo y el técnico, a pesar de no poder controlar los mandos directamente, sí puede decidir qué acción llevará a cabo. Este sistema es habitual en labores de agricultura de precisión y fotogrametría.</p>
	<p><b><i>Supervisado.</i></b> Un operador lo pilota, aunque puede realizar algunas tareas autónomamente,</p>
	<p><b><i>Preprogramado.</i></b> Sigue un plan de vuelo diseñado previamente y no hay forma de modificarlo para adaptarse a posibles cambios.</p>
	<p><b><i>Controlado remotamente (R/C).</i></b> Es pilotado directamente por un técnico mediante una consola.</p>
<b>Según su forma</b>	<p><b><i>Multirrotores.</i></b> Son los más usados actualmente. Se componen de varios motores independientes situados en los extremos del aparato. Se suelen clasificar según el número de motores en tricópteros (3), cuadricópteros (4), hexacópteros (6) y octocópteros (8).</p>

Su uso es el más extendido debido a su gran estabilidad y la facilidad y cantidad de maniobras que pueden realizar, además de poder volar estáticamente en el lugar que les indiquemos. Su desventaja, es el gran consumo de energía que necesitan para mantener el vuelo y su autonomía que suele estar entre los 15 y los 30 minutos. Son ideales en el sector audiovisual y en la inspección industrial

#### ***Helicópteros.***

Su forma es la de un helicóptero convencional, pero de tamaño pequeño. Está compuesto de un solo motor principal y ello le otorga gran capacidad de carga y autonomía. Existen modelos de combustión interna que pueden volar durante una (1) hora sin repostar. No obstante, su complejidad tanto a nivel mecánico como de control los ha hecho menos accesibles y son los menos utilizados. Ideales para fotogrametría, vigilancia o agricultura de precisión.

#### ***Ala fija.***

Son aquellos cuya fisonomía es similar a la de un aeroplano. Están compuestos por un cuerpo principal unido a dos alas que les permiten planear y un rotor en cola cuya propulsión puede ser eléctrica o de combustión. Sin duda, es el más eficiente aerodinámicamente hablando y el que tiene mayor autonomía de vuelo. Por otro lado, existe el inconveniente de que es el que menor carga puede llevar, tiene menos agilidad de maniobras ya que no puede permanecer inmóvil y necesita una gran superficie para despegar o aterrizar. No obstante, su gran autonomía lo convierte en un candidato ideal para las labores de fotogrametría y agricultura de precisión.

Nota. Adaptado de Pino, (2019)

## **2.2. Metodología PCI**

El objetivo principal de la metodología es determinar índice de las condiciones del pavimento (PCI), con la finalidad de puntualizar alternativas de intervención para la búsqueda de posibles soluciones que optimicen el pavimento y se alargue la vida útil del pavimento (Zuluaga, 2019). Dicha metodología consiste en mostrar las condiciones del buen o mal estado de la vialidad producto del uso y envejecimiento de la superficie de rodadura especialmente en pavimentos flexibles. Su finalidad es cuantificar las medidas preventivas para atender el posible deterioro ajustado a las indicaciones de estructura basada en las normativas ASTM, identificadas con el código D6433-03 para establecer el Índice de Condición (Norma ASTM 6433, 2005). Las principales fallas que se pueden detectar se detallan a continuación:

**Tabla 2**

**Tipos de falla**

<b>Tipo de Falla</b>	<b>Clasificación</b>
<b>Estructural</b>	Fallas atribuibles a la carpeta.
	Fallas originadas en la interface, consecuencia de una interacción inadecuada.
	Fallas originadas en la base, como consecuencia de la inestabilidad.
	Fallas originadas por la repetición de cargas.
	Fallas ocasionadas por los agentes climatológicos.
	Fallas ocasionadas por hormigueros.
<b>Funcional</b>	Fallas ocasionadas por madrigueras de algún animal.
	Ondulaciones longitudinales
	Deformaciones transversales.
	Texturas de la superficie.
	<b>Porcentaje de baches y áreas reparadas</b>

Nota. Adaptado de (Zuluaga, 2019)

**2.3 Evaluación de la Condición del Pavimento**

El índice del PCI indica las condiciones del pavimento de manera cuantitativa, y su rango oscila entre 0 – 100. Se califica con cero (0) a una condición “Fallado” y 100 a una condición de “Excelente”.

**Figura 1**

**Índice de Condición del Pavimento (PCI)**

	VALOR PCI (estado de la vía)	Nivel de servicio	Intervención propuesta
100	EXCELENTE	A	Mantenimiento rutinario
85	MUY BUENO	B	Mantenimiento preventivo
70	BUENO	C	Procesos leves de rehabilitación
55	REGULAR	D	Procesos considerables de rehabilitación
40	MALO	E	Procesos considerables de rehabilitación
25	MUY MALO	F	Reconstrucción
10	FALLADO	F	Reconstrucción
0			

*Nota. (Zuluaga, 2019) (p. 36)*

Desarrollado por el Sistema de Gestión del estado de Ontario (OPAC), es un procedimiento de evaluación por excelencia y se enmarca dentro de los métodos de índice globales, en vista que a través de la observación directa permite medir y diagnosticar el estado del pavimento en referencia a esto los autores (Cruz y Gutierrez, 2019).

**3. Procedimientos**



**Tesis: COMPARACIÓN DE LA METODOLOGÍA PCI PARA LA EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DEL PAVIMENTO DE FORMA CONVENCIONAL Y CON EL USO DE UN DRON, CAJAMARCA 2021**

Código:01

Versión:01

Emisión:  
2021

Los pasos para la implementación de la metodología PCI, según lo recomendado por autores reconocidos como González, Ruíz, y Guerrero, (2019) se detalla a continuación:

1. **Definición de la dimensión de las unidades de muestreo;** En este caso el ancho debe ser inferior a 7,30m y la zona debe estar entre el intervalo de  $230,0 \pm 93,0 \text{m}^2$ .
2. **Cálculo del número mínimo de unidades de muestreo;** En los casos que la dimensión de la zona de pavimento sea muy grande y amerite mayores recursos, se aconseja tomar un número de muestras de menor rango y aplicar la siguiente ecuación:

*Ecuación 1 Cálculo de PCI*

$$n = \frac{N \cdot \sigma^2}{\frac{e^2}{4} \cdot (N - 1) + \sigma^2}$$

Dónde:

n: Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar

N: Número total de unidades de muestreo e la sección del pavimento

e: Error admisible en la estimación del PCI

$\sigma$ : Desviación estándar

3. **Selección de las unidades de muestreo a considerar en la inspección visual;** Las unidades de muestreo se eligen de forma aleatoria para realizar los cálculos.
4. **Selección de las unidades de muestreo adicionales;** Se elige una unidad adicional o representativa para minimizar errores.
5. **Evaluación de la condición del pavimento por inspección visual;** Se registra en un formato el inventario de daños.
6. **Cálculo del PCI de las unidades de muestreo;** a groso modo aquí se calculan los valores deducidos, luego se extrae el número máximo, para después calcular el PCI de cada sección y como resultado se estima la desviación.
7. **Levantamiento de fallas en campo.** Para ello, se utiliza las hojas de inspección y catálogo de fallas de referencia (Arias, 2014; Cruz y Gutierrez, 2019; Ruitón, 2018; Valdés y Alonso, 2017; Zuluaga, 2019).



**Tesis: COMPARACIÓN DE LA METODOLOGÍA PCI  
PARA LA EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DEL  
PAVIMENTO DE FORMA CONVENCIONAL Y CON EL  
USO DE UN DRON, CAJAMARCA 2021**

Código:01

Versión:01

Emisión:  
2021

### **3.1 Método utilizando un dron.**

La propuesta metodológica se basa en la propuesta por Cruz y Gutierrez, (2019), la misma se divide en dos etapas, una en campo y otra en gabinete.

- a) La etapa de campo consiste en relevar la información mediante un vuelo programado donde el VANT captura imágenes del estado superficial de la vía en estudio. Es importante resaltar que la persona quien realiza el vuelo debe ser un Operador o Piloto acreditado, con el fin de ejecutar un vuelo seguro y pueda tomar las decisiones acertadas frente a cualquier problema que se presente durante la ejecución del vuelo.
- b) La etapa de gabinete se basa en el procesamiento y análisis de las imágenes adquiridas para la obtención de ortofotos y modelos digitales en tres dimensiones que luego se usarán para la inspección del pavimento mediante el método PCI (Cruz y Gutierrez, 2019, p. 6)

### **3.2 Misión de Vuelo**

- a) Definir el plan de vuelo, el cual consistirá en delimitar el área en estudio.
- b) Seleccionar el software para el procesamiento de las imágenes.
- c) Ingresar los parámetros de vuelo, (resolución o GSD y altura de vuelo) según las especificaciones del fabricante.
- d) Considerar los recubrimientos longitudinales y transversales de 80% en ambos casos para obtener mayor número de puntos homólogos y una mejor correlación de los mismos.
- e) Programar el tiempo de vuelo.

### **3.3 Ejecución y Operación de Vuelo**

- Dicha ejecución se escoge y se limita a la zona la zona objeto de estudio.
- Se verifica previamente un checklist para asegurar la vialidad del vuelo.
  1. Hélices colocadas correctamente.
  2. Porcentaje de batería óptima tanto en el VANT como el radiocontrol.
  3. Conexión correcta entre el radiocontrol y el VANT.
  4. Buena recepción de señal de GPS (al menos 10 satélites).

**Elaborado por: Yeyson Leiva Romero.**

**Asesor: Ing. Anita Alva Sarmiento.**



**Tesis: COMPARACIÓN DE LA METODOLOGÍA PCI PARA LA EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DEL PAVIMENTO DE FORMA CONVENCIONAL Y CON EL USO DE UN DRON, CAJAMARCA 2021**

Código:01

Versión:01

Emisión:  
2021

5. Establecer punto de despegue y retorno en caso de pérdida de señal.
  6. Tarjeta de memoria colocada correctamente.
  7. Plan de vuelo cargado correctamente (Cruz y Gutierrez, 2019, p. 27).
- Una vez que el VANT despegue se puede monitorear en tiempo real y No es necesario el control manual por parte del piloto a menos que desee cancelar el vuelo (Cruz y Gutiérrez, 2019, p. 27).
  - Monitorear en tiempo real lo siguiente:
    1. La ubicación,
    2. Velocidad,
    3. Trayectoria, imagen de transmisión,
    4. Numero de satélites del GPS,
    5. Cantidad de fotografías realizadas.
    6. Porcentaje de baterías del equipo (Cruz y Gutiérrez, 2019, p. 28).

### **3.4 Procedimiento de la metodología PCI utilizando un dron**

#### **1) Definición de la dimensión de la unidad de muestreo.**

En el caso de pavimentos flexibles, el método indica que el ancho debe ser menor que 7,30 m y el área de la unidad de muestreo debe estar en el intervalo de 230 +/- 93 m<sup>2</sup>.

#### **2) Calculo del numero mínimo de unidades de muestreo.**

La dimensión del área de pavimento a inspeccionar puede ser de tal magnitud que implique un numero muy grande de unidades, cuya inspección exigirá tiempo y recursos considerables. Por eso se precisa obtener el numero mínimo de muestras aplicando la ecuación 1, la cual produce un estimado del PCI verdadero con una confiabilidad del 95%.

*Ecuación 1 Cálculo de PCI*

$$n = \frac{N \cdot \sigma^2}{\frac{e^2}{4} \cdot (N - 1) + \sigma^2}$$

Donde:

n: Número mínimo de unidades de muestreo a evaluar.

N: Número total de unidades de muestreo en la sección del pavimento.

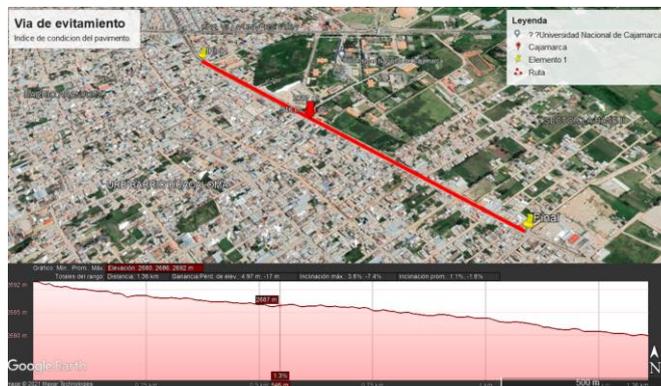
e: Error admisible en la estimación del PCI de la sección ( $e=5\%$ ).

$\sigma$ : Desviación estándar del PCI entre las unidades.

El método indica que cuando el número mínimo de unidades a evaluar es menor que 5, todas las unidades deben ser inspeccionadas.

## Figura 2

*Tramo de inspección*



Nota. Figura obtenida del programa Google Earth.

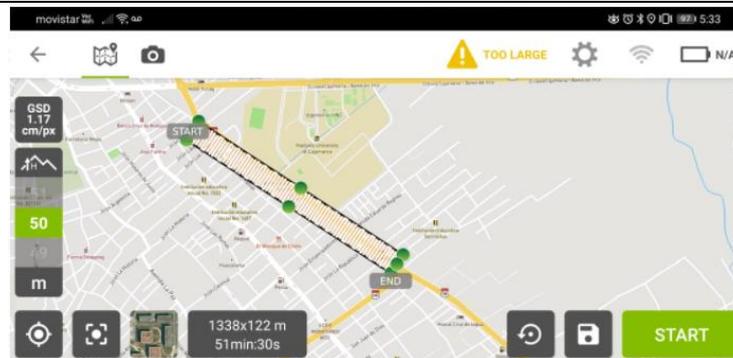
### 3) Inspección con el uso del dron.

Primero se deberá realizar un reconocimiento de la zona de vuelo para posteriormente realizar un plan de vuelo.

Plan de vuelo: Se sugiere realizar con las aplicaciones DJI GS pro o PIX4D capture, estas aplicaciones permitirán ingresar los parámetros de vuelos para programar el vuelo de forma automática.

## Figura 3

*Tramo de inspección*

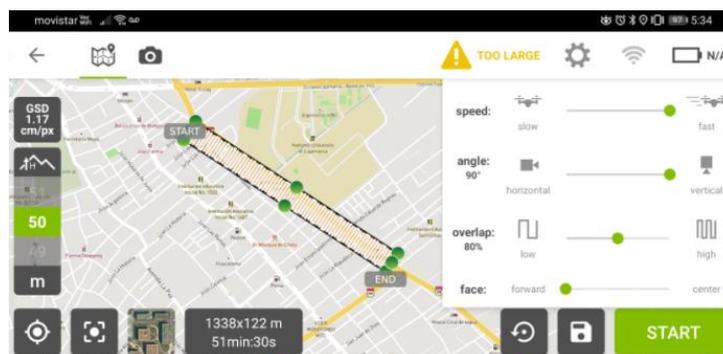


Nota. Plan de vuelo en un tramo de la vía de evitamiento. Figura obtenida del programa PIX4D

Los parámetros mas adecuados, cumplimiento con la normativa seria una altura de 30m a 50m, recubrimientos longitudinales y transversales de 80% para obtener mejor correlación y mayor numero de puntos homólogos y posición de cámara con un ángulo de 90°.

#### Figura 4

##### *Tramo de inspección*



Nota. Configuración de los parámetros del plan de vuelo. Figura obtenida del programa PIX4D

**Ejecución de vuelo:** Para realizar el vuelo se deberá busca un punto cercano a la zona de estudios con un área plana, la cual no tenga obstáculos para que el dron pueda elevarse y descender sin tener ninguna dificultad.

Se verifica previamente un checklist para asegurar la vialidad del vuelo.

1. Hélices colocadas correctamente.
2. Porcentaje de batería óptima tanto en el VANT como el radiocontrol.
3. Conexión correcta entre el radiocontrol y el VANT.
4. Buena recepción de señal de GPS (al menos 10 satélites).
5. Establecer punto de despegue y retorno en caso de pérdida de señal.
6. Tarjeta de memoria colocada correctamente.
7. Plan de vuelo cargado correctamente.

### **Figura 5**

*Verificación del checklist antes del vuelo*



Una vez que el dron despegue, ya no es necesario que el piloto realice un control manual porque el dron seguirá el plan de vuelo que se programo, sin embargo, el piloto deberá estar atento a la ruta de vuelo en caso se presente alguna dificultad o problema por lo cual el piloto deberá usar el control manual.

### **Figura 6**

*Despegue del dron en una zona libre.*



Nota. Antes de que despegue el dron se debe verificar que la zona este totalmente despejada y despejar en una zona alejada del cableado eléctrico.

### **Figura 7**

*Elevación del dron a 30 metros de altura.*



Nota. Seguimiento del vuelo del dron.

### **Figura 8**

*Vista del dron con los parámetros indicados.*



Nota. Inicio de toma de imágenes en la Av. Vía de evitamiento norte.

### **Figura 9**

*Aterrizaje del dron.*



Nota. Para que aterrice el dron el lugar debe estar despejado.



**Tesis: COMPARACIÓN DE LA METODOLOGÍA PCI PARA LA EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DEL PAVIMENTO DE FORMA CONVENCIONAL Y CON EL USO DE UN DRON, CAJAMARCA 2021**

Código:01

Versión:01

Emisión:  
2021

**4) Procesamiento de las imágenes georreferenciadas del vuelo dron.**

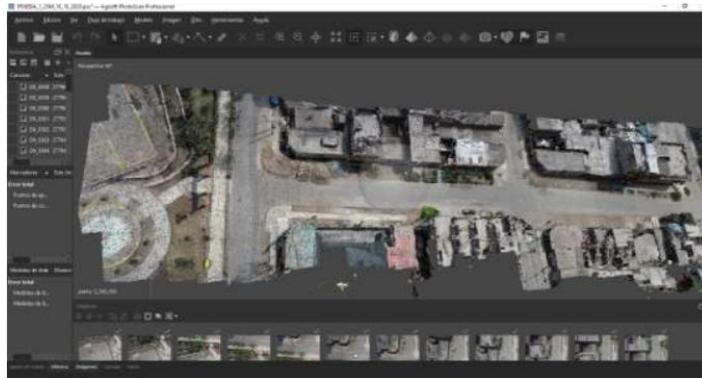
Una vez concluido el vuelo se realiza el procesamiento de las imágenes georreferenciadas mediante software como Agisoft Photoscan V 1.4.5 o Pix4D Mapper entre otros.

Procedimiento usando Agisoft Photoscan:

- a) Reproyectar en Sistemas de coordenadas UTM (WGS 84).
- b) Alinear las fotografías.
- c) Enmascarar vehículos y personas en movimiento (optimiza el procedimiento).
- d) Indicar Puntos de fotocontrol (En caso se hayan considerado).
- e) Creación de la malla digital.
- f) Se reduce los bordes para no ver la deformación.
- g) Crear nubes de punto.
- h) Crear el modelo digital de elevación (DEM).
- i) Creación del ortomosaico.
- j) Exportar la Ortofoto y el DEM.

### Figura 10

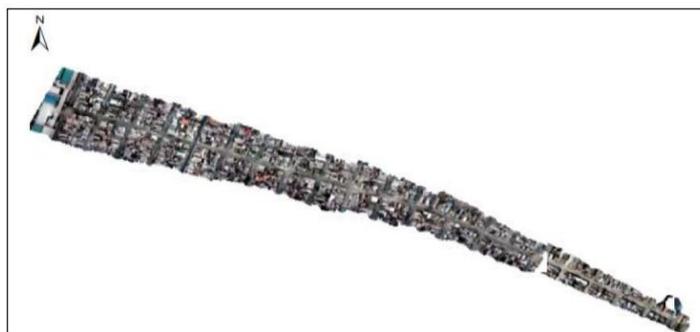
*Procesamiento en Software Agisoft Photoscan.*



**Nota.** Extraído de evaluación de confiabilidad del drone phaton 4 pro v2.0 para calcular el índice de condición del pavimento flexible en AV. Miraflores del distrito de comas, lima -2020 (p.24), por Quipe Omar, 2020, <https://bit.ly/39zCsfz>

### Figura 11

Ortofoto obtenida del Software Agisoft Photoscan.



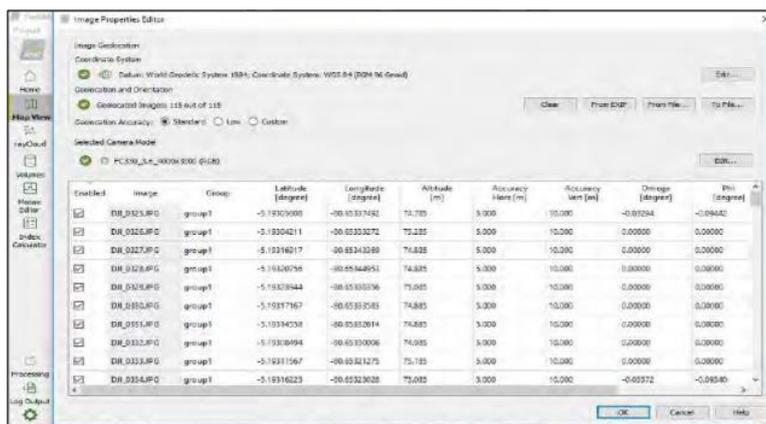
**Nota.** Extraído de evaluación de confiabilidad del drone phaton 4 pro v2.0 para calcular el índice de condición del pavimento flexible en AV. Miraflores del distrito de comas, lima -2020 (p.24), por Quipe Omar, 2020, <https://bit.ly/39zCsfz>

Procedimiento usando Pix4D Mapper:

- a) Abrir el programa y crear un nuevo proyecto.
- b) Introducir las imágenes.
- c) Creación de nubes de puntos densa
- d) Triangulación entre puntos.
- e) Creación de la malla digital.
- f) Crear el modelo digital de elevación (DEM).
- g) Creación del ortomosaico.
- h) Exportar la ortofoto y el DEM.
- i) Limpieza de vehículos y personas en la Ortofoto.

### Figura 12

*Ortofoto obtenida del Software Agisoft Photoscan.*

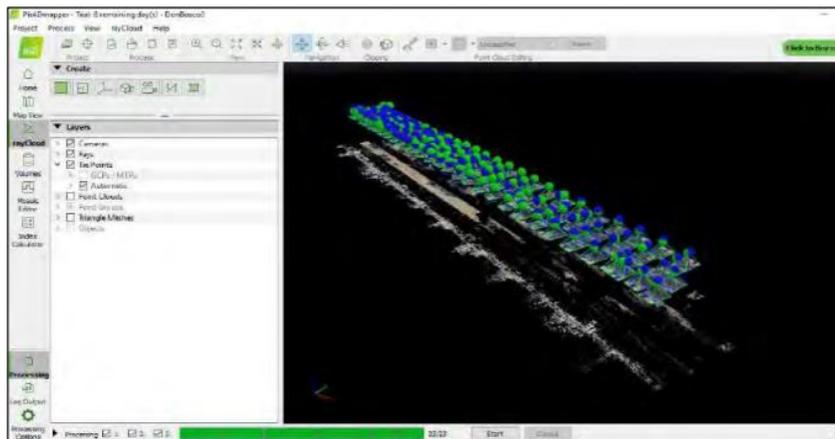


Enabled	Image	Group	Latitude (degrees)	Longitude (degrees)	Altitude (m)	Accuracy (mm)	Accuracy (cm)	Image (degrees)	Roll (degrees)
<input checked="" type="checkbox"/>	DR_0125.JPG	group1	-5.78309095	-80.65874581	70.789	5.000	10.000	-0.05264	-0.06042
<input checked="" type="checkbox"/>	DR_0126.JPG	group1	-5.78304211	-80.65832272	70.285	5.000	10.000	0.00000	0.00000
<input checked="" type="checkbox"/>	DR_0127.JPG	group1	-5.78276017	-80.65843289	70.635	5.000	10.000	0.00000	0.00000
<input checked="" type="checkbox"/>	DR_0128.JPG	group1	-5.78306756	-80.65846951	70.835	5.000	10.000	0.00000	0.00000
<input checked="" type="checkbox"/>	DR_0129.JPG	group1	-5.78309444	-80.65833196	71.005	5.000	10.000	0.00000	0.00000
<input checked="" type="checkbox"/>	DR_0130.JPG	group1	-5.78317167	-80.65832583	70.885	5.000	10.000	0.00000	0.00000
<input checked="" type="checkbox"/>	DR_0131.JPG	group1	-5.78340538	-80.65832674	70.885	5.000	10.000	0.00000	0.00000
<input checked="" type="checkbox"/>	DR_0132.JPG	group1	-5.78304994	-80.65830006	70.985	5.000	10.000	0.00000	0.00000
<input checked="" type="checkbox"/>	DR_0133.JPG	group1	-5.78311567	-80.65821275	71.185	5.000	10.000	0.00000	0.00000
<input checked="" type="checkbox"/>	DR_0134.JPG	group1	-5.78316223	-80.65823020	71.005	5.000	10.000	-0.05372	-0.06040

**Nota.** Adaptado de Cálculo del índice de condición del pavimento flexible a la Av. Don Bosco – Piura usando drones, Piura -2020 (p.24), por Fiestas y Merino, 2020, <https://bit.ly/3u7Lhqm>

**Figura 13**

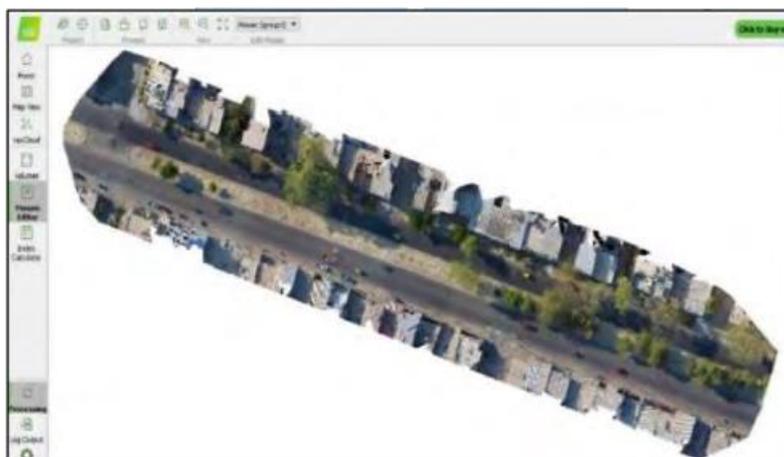
*Desarrollo de la nube de puntos densa*



**Nota.** Extraído de Cálculo del índice de condición del pavimento flexible a la Av. Don Bosco – Piura usando drones, Piura -2020 (p.24), por Fiestas y Merino, 2020, <https://bit.ly/3u7Lhqm>

**Figura 14**

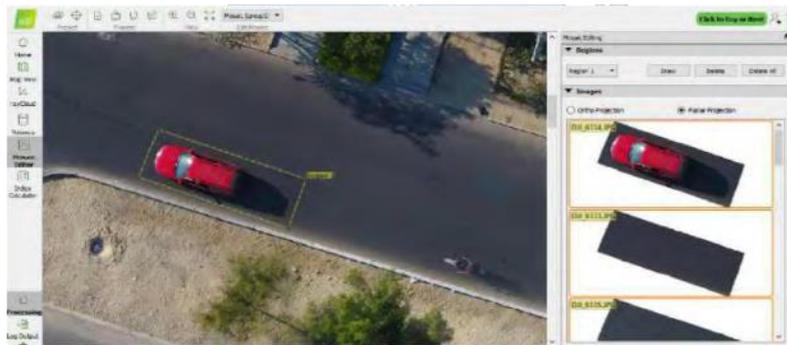
Ortofoto obtenida del software Pix4D



**Nota.** Extraído de Cálculo del índice de condición del pavimento flexible a la Av. Don Bosco – Piura usando drones, Piura -2020 (p.24), por Fiestas y Merino, 2020, <https://bit.ly/3u7Lhqm>

**Figura 15**

Ortofoto sin corrección del software Pix4D



**Nota.** Extraído de Cálculo del índice de condición del pavimento flexible a la Av. Don Bosco – Piura usando drones, Piura -2020 (p.24), por Fiestas y Merino, 2020, <https://bit.ly/3u7Lhqm>

**Figura 16**

Corrección de ortofoto con el software Pix4D



**Nota.** Extraído de Cálculo del índice de condición del pavimento flexible a la Av. Don Bosco – Piura usando drones, Piura -2020 (p.24), por Fiestas y Merino, 2020, <https://bit.ly/3u7Lhqm>

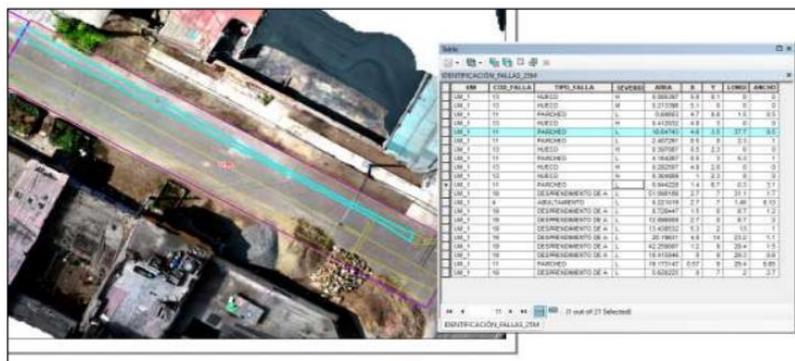
### 5) Inspección de la vía con ayuda de la ortofoto

Con la ortofoto en formato digital con resolución espacial de 1 cm en promedio se procederá a realizar el inventario de fallas de cada unidad de muestra.

Definiendo la longitud o área de muestra según su tipo de falla y grado de severidad; y con el modelo digital de superficie, para determinar los niveles de severidad de las fallas que necesitan una medición perpendicular al plano de la ortofoto.

#### Figura 17

Inspección de la vía con la ortofoto.



**Nota.** Extraído de Cálculo del índice de condición del pavimento flexible a la Av. Don Bosco – Piura usando drones, Piura -2020 (p.24), por Fiestas y Merino, 2020, <https://bit.ly/3u7Lhqm>

### 6) Cálculo de PCI

Con los datos obtenidos de la inspección de la vía con la ayuda de la ortofoto sobre la clasificación de fallas, dimensionamiento y severidad se desarrollará el calculo del PCI, determinando su condición por cada unida de muestra. Este calculo se puede realizar de forma manual o utilizando el programa Evalpav el cual es mencionado

por el Ministerio de transporte y comunicaciones (2015) buscando promover la investigación y desarrollo de tecnología aplicables a los estudios de infraestructura vial.

### Figura 18

#### Calculo del PCI

FALLA	SEVERIDAD	LIND	CANTIDADES PARCIALES				TOTAL	DENSIDAD (%)	VALOR DEDUCIDO
PC	H	m2	5.63	1.35	2.35		9.33	3.11	45.92
PC	M	m2	0.59	1.8			2.39	0.8	19.56
GB	H	m	1.2				1.2	0.4	7.9
GLT	L	m	2.7	5.6			8.3	2.77	1.56
PA	M	m2	0.23				0.23	0.08	3.7
HUE	M	Und	1	1			2	0.67	25.3
AHU	M	m2	7.74				7.74	2.58	28.08
								TOTAL VD=	132.02

Numero de valores deducidos > 2 (q) 6  
 Valor deducido mas alto (HVDi) 45.92  
 Número máximo de valores deducidos (mi) 6

Nº	VALORES DEDUCIDOS						VDT	q	VDC	
1	45.92	28.08	25.3	19.56	7.9	3.7		130.46	6	63.18
2	45.92	28.08	25.3	19.56	7.9	2		128.76	5	66.38
3	45.92	28.08	25.3	19.56	2	2		122.86	4	69.43
4	45.92	28.08	25.3	2	2	2		105.3	3	65.65
5	45.92	28.08	2	2	2	2		82	2	59.2
6	45.92	2	2	2	2	2		55.92	1	55.92

MAXIMO VDC= 69.43

INDICE DE CONDICION DEL PAVIMENTO (PCI)  $PCI = 100 - (\text{Máx VDC o Total VD})$   
 $PCI = 30.57$

CONDICION DEL ESTADO DEL PAVIMENTO: MALO

**Nota.** Ejemplo de calculo de forma manual utilizando Excel.

Para mayor detalle sobre el Calculo del PCI se puede revisar la norma ASTM 6433-03. Este procedimiento puede ser adaptable también a la norma ASTM 5340, teniendo en cuenta los diferentes tipos de fallas.



**Tesis: COMPARACIÓN DE LA METODOLOGÍA PCI PARA LA EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DEL PAVIMENTO DE FORMA CONVENCIONAL Y CON EL USO DE UN DRON, CAJAMARCA 2021**

Código:01

Versión:01

Emisión:  
2021

### 3.5. Recomendaciones

Una vez que el VANT ha recogido la información esta deberá ser analizada mediante un software y almacenada para futuras consultas (Tajadura, 2018). Para lo cual los autores (Agencia Estatal de Seguridad Aerea, 2020) recomiendan lo siguiente:

- Es recomendable realizar la misión de vuelo con anticipación considerando la geometría y topografía del lugar a evaluar, de tal manera de elegir la altura de vuelo apropiada.
- Se recomienda ejecutar el vuelo en días de poco tránsito, entre las 8:00 am y las 2 pm, de manera que las imágenes obtenidas no sean afectadas por sombra o varios obstáculos.
- Se sugiere realizar el inventario de fallas en períodos de 6 a 12 meses, con la finalidad de identificar la aparición de nuevos daños y analizar la evolución de las fallas existentes para la toma de decisiones de trabajos correctivos.
- Comprobar la metodología en otras vías, que perfeccione el proceso y se ajuste a un algoritmo de interpretación de vistas georreferenciadas.
- Se debe tener en cuenta el rendimiento de las baterías de los VANT, si bien su rendimiento es limitado actualmente, la tecnología de estos se encuentra en constante mejora, lo que demuestra su alto potencial para la inspección de activos viales.
- Se recomienda contar con pilotos acreditados para el planeamiento como ejecución del vuelo, asimismo, tener en cuenta los permisos necesarios para realizar el levantamiento de información en áreas urbanas. (Cruz, 2018; Cruz y Gutierrez, 2019; González et al., 2019).

Como recomendación propia y por la posibilidad que brinda el dron de poder analizar todas las unidades de muestra, se sugiere realizar la inspección computarizada de todas las unidades de muestra en la carretera, además de usar un Phantom 4 o superior por su GSD que es de 1cm, lo cual cumple lo establecido en la normas ASTM D6433, que pide una precisión de 1ft (30mm).

**Elaborado por: Yeyson Leiva Romero.**

**Asesor: Ing. Anita Alva Sarmiento.**



**Tesis: COMPARACIÓN DE LA METODOLOGÍA PCI  
PARA LA EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DEL  
PAVIMENTO DE FORMA CONVENCIONAL Y CON EL  
USO DE UN DRON, CAJAMARCA 2021**

**Código:01**

**Versión:01**

**Emisión:  
2021**

#### **4. Glosario de Términos**

- ATM: Sistema de gestión de tránsito aéreo.
- IRI: Índice de Regularidad Internacional.
- PCI Índice de Condición del Pavimento.
- RPA: Remotely Piloted Aircraft (Siglas en ingles).
- RPAS: Sistemas de aeronave pilotada remotamente.
- VANT: Vehículo Aéreo No Tripulado.
- UAV: Unmanned aerial vehicle (Siglas en ingles).



**Tesis: COMPARACIÓN DE LA METODOLOGÍA PCI  
PARA LA EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DEL  
PAVIMENTO DE FORMA CONVENCIONAL Y CON EL  
USO DE UN DRON, CAJAMARCA 2021**

Código:01

Versión:01

Emisión:  
2021

## 5. Referencias

- Agencia Estatal de Seguridad Aerea. (2020). *Guía para operadores de RPAS sobre Procedimientos de: Habilitación y Autorización*. España.
- Alcaldía Mayor de Santa Fé de Bogotá DC, y Universidad de los Andes. *Manual de instrumentación de pavimentos*. , (2011).
- Andrade, C., Andrade, I., y Rufino, J. (2015). Metodología de análisis de la condición del pavimento a partir del cuenco de deflexión. *Infraestructura Vial*, 17(29), 24–32.
- Arias, C. (2014). *Diagnóstico de vías de la red vial pavimentada del catón de Alajuela como parte de un sistema de gestión de pavimentos*.
- Bobenrieth, M. (2002). Normas para revisión de artículos originales en ciencias de la salud. *International Journal of Clinical and Health Psychology*, 2(3), 509–523.
- Cárdenas, D., Holguin, O., y Zabala, S. (2019a). *Auscultación visual realizada mediante el drone DJI PHANTOM 4 PRO, con implementación de metodologías VIZIR y PCI para pavimentos flexibles e la carrera 69 Sur entre la Avenida Primera de Mayo y calle 19A Sur Barrio Villa Claudia Ciudadana de Bogotá*. Universidad Piloto de Colombia.
- Cárdenas, D., Holguin, O., y Zabala, S. (2019b). *Auscultación visual realizada mediante el Drone DJI PHANTOM 4 PRO con implementación de metodologías VIZIR Y PCI para pavimentos flexibles en la carrera 69B CIUDAD BOGOTA*. UNIVERSIDAD PILOTO DE COLOMBA.
- Cardona, C., y Restrepo, A. (2016). *Herramientas de control lista de chequeo*. Retrieved from [www.puntosdeencuentro.weebly.com](http://www.puntosdeencuentro.weebly.com)

**Elaborado por: Yeyson Leiva Romero.**

**Asesor: Ing. Anita Alva Sarmiento.**



**Tesis: COMPARACIÓN DE LA METODOLOGÍA PCI  
PARA LA EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DEL  
PAVIMENTO DE FORMA CONVENCIONAL Y CON EL  
USO DE UN DRON, CAJAMARCA 2021**

Código:01

Versión:01

Emisión:  
2021

Controldron.com. (2016). *Manual de operaciones de Drones* (pp. 447–451). pp. 447–451.

<https://doi.org/10.5377/rpsp.v5i2.2331>

Corral, Y. (2010). Diseño de cuestionarios para recolección de datos. *Revista Ciencias de La Educación*, (36), 152–168.

Cruz, J. (2018). *Aplicación de los drones para el control y monitoreo de pavimentos con fines de conservación*. Perú.

Cruz, J., y Gutierrez, J. (2019). Evaluación superficial de vías urbanas empleando Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT). *Métodos y Materiales*, 8(2215–455), 23–32.

Dávila, D., Huangal, N., y Salazar, W. (2017). *Aplicación del método del PCI en la evaluación superficial del pavimento rígido de la vía canal de la avenida Chiclayo Distrito José Leonardo Ortiz Provincia De Chiclayo Periodo 2016*.

Díaz, E. (2019). Estudio preliminar sobre el uso de dron durante el proceso de pavimentación en caminos de asfáltico. *Universidad de Concepción*, 1–55.

Drone Guru. (2020). Nueva normativa europea de drones 2020. Retrieved July 14, 2020, from <https://www.droneguru.es/nueva-normativa-europea-para-drones/>

García, U., Márquez, J., Sánchez, M., y Sabino, B. (2016). Detección y evaluación de daños en pavimento asfáltico mediante procesamiento de imágenes digitales. *Revista de Aplicación Científica y Técnica*, 2(5), 12–18. Retrieved from [www.ecorfan.org/spain](http://www.ecorfan.org/spain)

González, H. (2019). Propuesta de metodología para la evaluación de pavimentos mediante el Índice de Condición de Pavimento (PCI). *REDALYC*, 1, 16.

González, H., Ruíz, P., y Guerrero, D. (2019). Propuesta de metodología para la evaluación

**Elaborado por: Yeyson Leiva Romero.**

**Asesor: Ing. Anita Alva Sarmiento.**



**Tesis: COMPARACIÓN DE LA METODOLOGÍA PCI  
PARA LA EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DEL  
PAVIMENTO DE FORMA CONVENCIONAL Y CON EL  
USO DE UN DRON, CAJAMARCA 2021**

Código:01

Versión:01

Emisión:  
2021

de pavimentos mediante el Índice de Condición de Pavimento. *Ciencia En Su Pc, 1*, 58–71.

González, R., Ucán, J., Sánchez, I., Medina, R., Árcega, F., Zetina, C., y Casares, R. (2019). Drones. Aplicaciones en ingeniería civil y geociencias. *Interciencias, 44*(June), 326–332.

Hernández, R., Fernández, C., y Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6ta ed.). México.

Lizcano, F. R., y Rojas, L. M. (2012). Comportamiento hidráulico, beneficios y limitaciones de la aplicación de un SDGA a una estructura de pavimento flexible. *Infraestructura Vial, 13*(24), 17–21.

Ministerio de Transporte y Comunicaciones (MTC). (2019). MTC: Conoce los requisitos para operar un dron. Retrieved July 13, 2020, from Nota de Prensa website: <https://www.gob.pe/institucion/mtc/noticias/50511-mtc-conoce-los-requisitos-para-operar-un-dron>

Ministerio de Transporte y Comunicaciones Perú. *Manual de carreteras. Suelos, geología, goetecnia y pavimentos.* , (2013).

Miro, R., Centeno, M., Martínez, A., y Pérez, F. (2007). Evaluación de los métodos de reciclado y rehabilitación de firmes a partir del análisis de los tramos experimentales dle proyecto europeo PARAMIX. *Infraestructura Vial, 18*, 15–23. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91117204>

MTC - NTC 001. (2015). *Requisitos para las Operaciones de Sistemas de Aeronaves*

**Elaborado por: Yeyson Leiva Romero.**

**Asesor: Ing. Anita Alva Sarmiento.**



**Tesis: COMPARACIÓN DE LA METODOLOGÍA PCI PARA LA EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DEL PAVIMENTO DE FORMA CONVENCIONAL Y CON EL USO DE UN DRON, CAJAMARCA 2021**

Código:01

Versión:01

Emisión:  
2021

*Pilotadas a Distancia* (pp. 1–12). pp. 1–12.

MTC Ley N° 30749. (2018). *Regulación del uso y operaciones de los sistemas de aeronaves pilotadas a distancia (RPAS)*.

Norma ASTM D6433-03. Procedimiento Estándar para la Inspección del Índice de Condición del Pavimento en Caminos y Estacionamientos . , (2005).

Norma CE.010. Pavimentos Urbanos. , Reglamento Nacional de Edificaciones (2010).

Otzen, T., y Manterola, C. (2017). Técnicas de Muestreo sobre una Población a Estudio. *Int. J. Morphol*, 35(1), 227–232.

Piatti, E., y Lerma, J. (2013). Virtual worlds for photogrammetric image based simulation and learning. *Photogrammetric Record*, 28(141), 27–42.  
<https://doi.org/10.1111/phor.12001>

Picado, G. (2016). Desarrollo de curvas de deterioro para pavimento flexible y factor de incertidumbre. *Infraestructura Vial*, ISSN 1409-4045, ISSN-e 2215-3705, Vol. 18, N°. 31, 2016, Págs. 30-38, 18(31), 30–38. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5793106>

Pino, E. (2019). Los drones una herramienta para una agricultura eficiente: un futuro de alta tecnología. *Idesia*, 37(1), 75–84.

Pinzón, J. (2017). *Drones en las Geociencias. Guía de implementación en la Cartografía*.

UNIVERSIDAD DE CUNDINAMARCA.

Rondón, H., y Reyes, F. (2007). Metodologías de diseño de pavimentos flexibles : Tendencias , alcances y limitaciones. *Design*, 17, 41–65.

**Elaborado por: Yeyson Leiva Romero.**

**Asesor: Ing. Anita Alva Sarmiento.**



**Tesis: COMPARACIÓN DE LA METODOLOGÍA PCI PARA LA EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DEL PAVIMENTO DE FORMA CONVENCIONAL Y CON EL USO DE UN DRON, CAJAMARCA 2021**

Código:01

Versión:01

Emisión:  
2021

- Ruitón, M. (2018). *Aplicación de los métodos VIZIR y PCI y su incidencia e la evaluación del estado de la carretera San Marcos Ichuacan:2018*. Universidad Privada del Norte.
- Serna, I., y Herrera, J. (2019). Detección de baches en vías urbanas a partir de imágenes de alta resolución espacial, mediante técnicas de GEOBIA. *Revista de Topografía Azimut*, 1(10), 1–11.
- Tajadura, R. del B. (2018). Uso de drones en la inspección para la rehabilitación del patrimonio Iglesia de la merced (Vol. 1). Retrieved from <http://www.tesisenred.net/handle/10259/4804>
- Valdés, L., y Alonso, A. (2017). Catálogo de deterioros de pavimentos flexibles en aeropuertos para Cuba. *Revista Arquitectura e Ingeniería*, 11(2), 2.
- Vargas, C. (2018). *Análisis comparativo de la inspección visual de un pavimento flexible, por los métodos tradicional y por sensores remotos en un kilómetro de la calle séptima en el municipio de cajica cundinamarca*. UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA.
- Vásquez, L. (2002). *Pavement Condition Index (PCI) Para Pavimentos Asfálticos y de Concreto en Carretera. Colombia: INGPAV*. Colombia.
- Yshiba, J. K., y Fernandes Junior, J. L. (2005). Modelos estadísticos para previsão de desempenho de pavimentos. *Acta Scientiarum. Technology*, 27(2), 181. <https://doi.org/10.4025/actascitechnol.v27i2.1481>
- Zuluaga, S. (2019). *Sistema de clasificación de severidad de daños en pavimentos flexibles para determinar posibles intervenciones*.

**Elaborado por: Yeyson Leiva Romero.**

**Asesor: Ing. Anita Alva Sarmiento.**

## 5. Anexo

### Anexo 1: Formatos Solicitud de Registro de RPAS






**APÉNDICE "A"**  
**FORMATO DE SOLICITUD DE REGISTRO DE DATOS DE RPAS**

Lima, \_\_\_\_\_

**Sres.**  
**Dirección General de Aeronáutica Civil**  
**Dirección de Certificaciones y Autorizaciones**

Por medio del presente documento, declaro ser propietario de un RPAS de acuerdo a los datos que suscribo a continuación y en virtud de ello solicito la emisión de la tarjeta de registro correspondiente:

**1. Datos del solicitante:**  
 Nombre completo del propietario: \_\_\_\_\_  
 Número de DNI: \_\_\_\_\_  
 Dirección: \_\_\_\_\_  
 Teléfono: \_\_\_\_\_, correo electrónico: \_\_\_\_\_

**2. Información técnica del RPAS:**  
 Marca: \_\_\_\_\_; Modelo: \_\_\_\_\_  
 País de fabricación: \_\_\_\_\_, Número de serie: \_\_\_\_\_  
 Tipo de motores: \_\_\_\_\_, Cantidad de motores: \_\_\_\_\_  
 Frecuencia de control: \_\_\_\_\_ Hz, Masa (peso) máxima de despegue: \_\_\_\_\_ Kg.  
 Autonomía: \_\_\_\_\_ minutos.

Descripción del equipamiento incorporado:

Equipo	Disponible		Marca/Tipo
	(sí)	(no)	
GPS	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	_____
Paracaídas de emergencia	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	_____
Cámara de video	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	_____
ATC transponder	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	_____

Otros equipos incorporados (detallar):  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

**Documentación adjunta:**

- Copia simple de la partida registral actualizada o del certificado de vigencia de la sociedad, si es persona jurídica.
- Copia simple del documento en el que conste el poder otorgado al representante que formula la solicitud con la constancia actualizada de su inscripción registral o de ser el caso, copia de la carta poder correspondiente, si es persona jurídica.
- Copia digital del manual de operación del RPAS (aeronave y sistema de control).
- Fotografía del RPAS en formato jpg.

**Atentamente,**  
 Nombre del solicitante: \_\_\_\_\_  
 Firma del solicitante: \_\_\_\_\_

NTC 001 - 2015 1/1  
 Rev.: Original



UNIVERSIDAD  
PRIVADA  
DEL NORTE

**Tesis: COMPARACIÓN DE LA METODOLOGÍA PCI  
PARA LA EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DEL  
PAVIMENTO DE FORMA CONVENCIONAL Y CON EL  
USO DE UN DRON, CAJAMARCA 2021**

Código:01

Versión:01

Emisión:  
2021

**Anexo 2: Responsabilidad Jurada simple de Responsabilidad Solidaria**

	<b>PERÚ</b> Ministerio de Transportes y Comunicaciones	Viceministerio de Transportes	Dirección General de Aeronáutica Civil
---	---	----------------------------------	---

**APÉNDICE "C"**  
**DECLARACIÓN JURADA SIMPLE DE RESPONSABILIDAD SOLIDARIA**

Por medio del presente documento suscrito en la ciudad de \_\_\_\_\_, en la fecha  
de \_\_\_\_ de \_\_\_\_; yo \_\_\_\_\_, de  
profesión/ocupación \_\_\_\_\_, domiciliado en  
\_\_\_\_\_,  
por mí mismo / en representación de \_\_\_\_\_  
Empresa del sector de \_\_\_\_\_ con domicilio en  
\_\_\_\_\_.

DECLARO / DECLARAMOS BAJO JURAMENTO que asumo / asumimos  
solidariamente la responsabilidad civil o penal que pudiera derivarse de las operaciones  
que se efectúen mediante el uso de sistema(s) de aeronave(s) pilotadas a distancia  
RPAS, registradas en la DGAC con tarjeta de registro número  
\_\_\_\_\_, cuyo propietario es  
\_\_\_\_\_.

_____ (Nombre del solicitante) (DNI)	_____ (Nombre del operador) (DNI)
_____ (Firma del solicitante)	_____ (Firma del operador)

NTC 001-2015  
Rev.: Original

1/1

Elaborado por: Yeyson Leiva Romero.

Asesor: Ing. Anita Alva Sarmiento.



**Tesis: COMPARACIÓN DE LA METODOLOGÍA PCI  
PARA LA EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES DEL  
PAVIMENTO DE FORMA CONVENCIONAL Y CON EL  
USO DE UN DRON, CAJAMARCA 2021**

Código:01

Versión:01

Emisión:  
2021

**Anexo 3: Formato de Autorización y Análisis de Riesgos**

	<b>PERÚ</b>	Ministerio de Transportes y Comunicaciones	Viceministerio de Transportes	Dirección General de Aeronáutica Civil
---	-------------	--	----------------------------------	---

**APÉNDICE "D"**  
**FORMATO DE SOLICITUD DE AUTORIZACIÓN Y ANÁLISIS DE RIESGO PARA UNA  
OPERACIÓN DE SISTEMA DE AERONAVE PILOTADA A DISTANCIAS EN ZONAS  
URBANAS O EN LA VECINDAD DE AERÓDROMOS**

- Número correlativo del formato de evaluación de riesgo: \_\_\_\_\_, total de páginas: \_\_\_\_\_
- Resolución que califica la operación de interés público: \_\_\_\_\_
- Número de tarjeta de registro del RPAS: \_\_\_\_\_
- Fecha y hora de la operación: Día: \_\_\_\_\_ mes: \_\_\_\_\_ año: \_\_\_\_\_
- Para operación en la vecindad de aeródromos, adjuntar copia del "Protocolo de Seguridad de Uso de RPAS para el Control de peligro Aviarío", aprobado por el explotador del aeródromo.

**Descripción y delimitación de la zona de operación:**

- Coordenadas: S: \_\_\_\_\_ W: \_\_\_\_\_ ; S: \_\_\_\_\_ W: \_\_\_\_\_  
S: \_\_\_\_\_ W: \_\_\_\_\_ ; S: \_\_\_\_\_ W: \_\_\_\_\_
- Referencias de ubicación: \_\_\_\_\_
- Distrito: \_\_\_\_\_ Provincia: \_\_\_\_\_ Departamento: \_\_\_\_\_

**Datos del operador responsable:**

- Nombre de la Entidad responsable de la operación: \_\_\_\_\_
- Dirección de la Entidad solicitante: \_\_\_\_\_
- Nombre del funcionario responsable de la Entidad operadora: \_\_\_\_\_
- Nombre del operador/piloto solidariamente responsable: \_\_\_\_\_  
Evaluación del riesgo (según los lineamientos del Documento 9859, "Manual de gestión de la seguridad operacional" de la Organización de Aviación Civil Internacional, capítulo 5, publicado en: [https://www.mtc.gob.pe/transportes/aeronautica\\_civil/sistema\\_gestion/documentos/SMS/DQC%2088\\_59\\_cons\\_es%20QACI.pdf](https://www.mtc.gob.pe/transportes/aeronautica_civil/sistema_gestion/documentos/SMS/DQC%2088_59_cons_es%20QACI.pdf) y la Circular de Asesoramiento CA 11-305-2014, párrafo 7.2: [http://www.mtc.gob.pe/transportes/aeronautica\\_civil/normas/documentos/circulares/2014/CA\\_11\\_305\\_2014\\_Analisis\\_riesgo\\_sobre\\_metodos\\_alternos\\_de\\_exenciones\\_consujido.pdf](http://www.mtc.gob.pe/transportes/aeronautica_civil/normas/documentos/circulares/2014/CA_11_305_2014_Analisis_riesgo_sobre_metodos_alternos_de_exenciones_consujido.pdf))

**Deberá agregarse páginas adicionales numeradas, cuando se requiera espacio adicional:**

- Identificación de los peligros (equipo, procedimientos, organización, presencia de obstáculos, proximidad de personas):  
\_\_\_\_\_
- Análisis de riesgo (probabilidad y severidad):  
\_\_\_\_\_
- Evaluación del riesgo y tolerabilidad:  
\_\_\_\_\_
- Control/mitigación del riesgo (aplicación de defensas (tecnología, reglamentos, entrenamiento):  
\_\_\_\_\_
- Conclusión:**  
Los que suscriben declaran, en virtud de la gestión de riesgo realizada, que (marcar el casillero que corresponda):  
 Es posible realizar la operación en condiciones seguras  
 No es posible realizar la operación en condiciones seguras  
Fecha: \_\_\_\_\_

Nombre de la entidad/empresa solicitante	Nombre del operador/piloto
Firma del funcionario responsable	Firma del operador/piloto
DNI: _____	DNI: _____

NTC 001 - 2015  
Rev.: Original

1/1





Anexo 5: Formato Hoja de registro en vías de pavimento flexible.

<b>Lista de verificación</b>	Fecha	<input type="text"/>
	Lugar	<input type="text"/>
	ID del UAS	<input type="text"/>

**Antes de ir a  
la zona de vuelo**

**1.- Planificación de la misión**

- 1.1.- Se tiene el permiso de la autoridad oportuna (aérea y/o de la zona a sobrevolar).
- 1.2.- Comprobar restricciones del espacio aéreo.
- 1.3.- Comprobar restricciones temporales (NOTAMs).
- 1.4.- Comprobar estado de la meteorología.
- 1.5.- Actualizar software del UAS.
- 1.6.- Crear ruta de vuelo a seguir por el dron.
- 1.7.- Guardar ruta de vuelo para uso offline.

**2.- Inspección del sistema aereo (UAS)**

- 2.1.- Fuselaje del dron.
- 2.2.- Batería.
- 2.3.- Hélices.
- 2.4.- Motores.
- 2.5.- Cámara y gimbal.
- 2.6.- Tarjeta de memoria.
- 2.7.- Estación de tierra y antenas.

**3.- Verificar que cargamos con todo**

- 3.1.- Aeronave.
- 3.2.- Baterías. Asegurarnos que están cargadas.
- 3.3.- Mando de radiocontrol. Aseg. que está cargado.
- 3.4.- Tablet o equivalente. Aseg. que está cargado.
- 3.5.- Tarjetas de memoria de repuesto.
- 3.6.- Hélices de repuesto.
- 3.7.- Otros. Indicar

Nota. Extraído de Hispa Drones.