

**A. Verificar zona de despegue y aterrizaje**

Es un proceso importante, pues es necesario garantizar la seguridad de las personas que transitan el lugar, y garantizar la seguridad del equipo. Se determinaron zonas de despegue y aterrizaje justo en cada punto de control, utilizando los equipos recomendados por el fabricante del RPAS. La zona de despegue y aterrizaje es muy importante, pues permite un ascenso y descenso seguro del RPAS, y para poder ubicarlo es necesario encontrar una zona que cuente con condiciones óptimas.

B. Verificar condiciones climáticas

Antes de realizar el vuelo, es necesario revisar las condiciones climáticas en el lugar, y confirmar las predicciones que se hicieron, es necesario tener condiciones climáticas óptimas.

C. Verificar el plan de vuelo

El plan de vuelo escogido tiene que ser revisado antes del despegue, en nuestro caso se revisaron el traslape y la altura de vuelo.

D. Verificar la calibración del equipo

La calibración del equipo es muy importante, no solo para la seguridad del mismo equipo y del entorno en el que sobrevuela, sino que también podrían variar los datos obtenidos.

E. Verificar baterías

Antes del despegue se realiza una inspección del estado de las baterías del RPA, del control remoto y del Smartphone que servirá como CPU.

F. Verificar la señal del RPAS

Una vez que se comprueba el buen estado y carga de las baterías, se procede a encender el RPAS, en el cual se verifica el estado de conexión que existe en el RPA, el control remoto y el Smartphone.

G. Verificar la cantidad de satélites

Dentro de los modos de vuelo de los RPAS, para realizar trabajos fotogramétricos es necesario que el RPAS tenga una conexión con una cantidad mínima de satélites, la cual

servirá para referenciar los puntos obtenidos en el terreno y la ubicación del RPAS, por ello es importante tener por lo menos 6 satélites enlazados.

H. Verificar Obstáculos

Cuando se utilizan modos de vuelo automáticos, es necesario conocer muy bien el espacio donde el RPA se desplazará, para ello es necesario conocer muy bien el espacio aéreo, para ello se realiza una última verificación de posibles obstáculos en el terreno.

3.5.2.1.4. Vuelo

Durante el vuelo es necesario conocer en tiempo real la telemetría del RPAS, su ubicación y algunos factores importantes antes, durante y después del despegue.

A. Despegue

El RPA ubicado en la zona elegida para el despegue inicia su marcha, con el encendido del equipo y posterior despegue.



Figura 34. Despegue del RPAS DJI Spark durante la investigación.

B. Verificar estabilidad durante prueba

Después del despegue el RPA deberá posicionarse durante unos segundos a una altura de 2 metros para poder verificar si no existe algún problema con el equipo.

C. Verificar telemetría durante vuelo

Una vez iniciado el recorrido, el piloto del RPAS observa la telemetría, percatándose con mucha atención sobre el posicionamiento del RPAS, su altura, velocidad de movimiento, velocidad de las hélices, estado de la batería, temperatura, etc.

D. Verificar cámara en vivo

Es necesario tener una visualización en vivo de la cámara del RPAS, para saber cómo está capturando los datos del terreno.

E. Verificar que se cumpla el plan de vuelo

El plan de vuelo planteado se deberá cumplir en las dimensiones y altura indicada, pues un cambio en el terreno podría ocasionar malos datos obtenidos o un accidente.

F. Verificar obstáculos mediante binoculares

Utilizando los binoculares un asistente deberá estar pendiente del vuelo del RPAS, monitoreando en tiempo real sobre posibles obstáculos en el terreno.



Figura 35. Verificación de obstáculos durante el vuelo con binoculares TASCÓ.

G. Verificar retorno y descenso del RPA

Cuando la batería del RPA se descarga, el equipo debe retornar para cambiar la batería, para ello es necesario tener en cuenta la trayectoria de retorno hasta el punto de origen, en nuestro caso, en el modo manual controlar de manera adecuada el descenso seguro del RPA.

H. Verificar condiciones técnicas del equipo

Al descender el equipo, se realiza el cambio de batería, aprovechando también para hacer una inspección técnica del equipo, y si el trabajo ya ha sido concluido, se visualizan las fotografías capturadas, las cuales son de alta calidad en buenas condiciones de luz, ya que la cámara cuenta con un sensor CMOS de $\frac{1}{2},3''$ con 12 MP de resolución así mismo con un estabilizador mecánico de dos ejes el cual evitara su distorsión al momento de la obturación en pleno vuelo; finalmente se procede a guardar el equipo.

3.6. Procedimientos de análisis de datos

3.6.1. Procedimiento de análisis de datos obtenidos con Smartphone

A. Ingreso a la base de datos del software Roadroid

Los datos obtenidos por la aplicación Roadroid, están en la base de datos el software, y para poder descargarlos tendremos que ingresar a su página web y acceder con el usuario y contraseña con los que se tomaron los datos.

Account expire date: 2019-12-31 (Notify us in advance for extension)
User Info: May 2018: Please use Chrome if you get red backgrounds in maps
Current system version: 2.6.3

My Units | REM Report | Import History | Log out

English | Svenska | Português

Home | Road Condition | Road Inventory | Road Event Manager | Traffic Sensors | Change Report | Information

Road damages
Road damages create comfort-, environmental- and security problems. Existing measurement technologies are very expensive and can only be used rarely. With smartphones you can measure often or in remote areas.

Roadroid @Roadroid
More about the M-probes!
manage.paperton.com/shelf/reader/w...
Jul 9, 2019

Awards
We are proud to present our awards

IFIF Global Road Achievement Award
Read about it here

Figura 36. Acceso a la página web Roadroid.

Fuente: www.roadroid.com

B. Descarga de datos desde la página web del software Roadroid

A continuación, se procede a realizar la descarga de los datos, para ello se ingresa al apartado de “My Units” de la página web.

| Name | IMEI | Email | Comment | UserName | |
|-----------|-----------------|-------------------------|---------|----------|---------|
| Iloclla01 | 861250040775677 | ander021096@gmail.com | 190424 | uniAC_pe | Details |
| Jesus02 | 357631090127896 | jeanjesuscayo@gmail.com | 190310 | uniAC_pe | Details |
| Jesus01 | 35614408353295 | jeanjesuscayo@gmail.com | 190310 | uniAC_pe | Details |

Showing 1 to 3 of 3 entries

Previous 1 Next

© 2013-2019 - Copyright (c) Roadroid

Figura 37. Descarga de datos desde la web de la aplicación Roadroid.

Fuente: www.Roadroid.com

En este apartado se visualizan los trabajos realizados por el usuario asignado a esta investigación, de la cual ingresamos al que corresponde a la presente investigación.

Account expire date: 2019-12-31 (Notify us in advance for extension)
User Info: May 2018: Please use Chrome if you get red backgrounds in maps
Current system version: 2.6.3

My Units REM Report Import history Log out

English | Svenska | Português

Home Road Condition Road Inventory Road Event Manager Traffic Sensors Change Report Information

Survey details

Show survey start- and endpoint on Google Maps
(You must allow popups in web browser)

Show survey data on map
(Use the "Road Condition" tab above to view all surveys.)

Generate Shape File

Generate KML file

Generate aggregate file 100m Select aggregation length (meters)

| Survey Details | Value |
|-------------------|---|
| Measurement Id | 124725 |
| Import date | 17/03/2019 21:10:31 |
| User Name | uniAC_pe |
| File Name | 35614408353295-20190317144845-7ac8tat4-FICP.zip |
| Survey start time | 17/03/2019 14:48:45 |
| Survey end time | 17/03/2019 14:54:26 |

Figura 38. Visualización para descarga de datos obtenidos con la aplicación Roadroid.

Fuente: www.Roadroid.com

Se hicieron cuatro mediciones, dos en el carril de subida y dos en el carril de bajada, de los cuales se obtuvieron cuatro mediciones.

Import History List

Show 25 entries Search:

| Import date | User Name | Unit Name | Import Status | Avg eIRI | Avg cIRI | Avg Speed | Road Id | Survey Length (m) | Type |
|---------------------|-----------|-----------|---------------|------------------|------------------|------------------|---------|-------------------|---------------|
| 17/03/2019 21:10:31 | uniAC_pe | Jesus01 | Import OK | 1,74852705001831 | 1,07356417179108 | 53,6582069396973 | ...005 | 5065 | RoadCondition |
| 17/03/2019 21:10:26 | uniAC_pe | Jesus01 | Import OK | 1,98245143890381 | 1,14581310749054 | 53,4138543273926 | ...004 | 5048 | RoadCondition |
| 17/03/2019 21:10:21 | uniAC_pe | Jesus01 | Import OK | 1,72727000713348 | 1,11660933494568 | 52,0083885192871 | ...003 | 5286 | RoadCondition |
| 17/03/2019 21:10:17 | uniAC_pe | Jesus01 | Import OK | 1,89990210533142 | 1,25146174430847 | 52,246452331543 | ...002 | 4942 | RoadCondition |

Figura 39. Lista de hojas de datos obtenidos con la aplicación Roadroid.

Podemos visualizar los resultados directamente desde la página web, pero es mejor descargar el archivo en extensión KML para así poder visualizarlo desde el software Google Earth Pro, tal como se muestra en el Anexo 3.

Este mapa es un indicador visual, desde el cual se puede apreciar el IRI obtenido en cada punto, en los que se indican además las distintas velocidades en las que está el vehículo en cada punto.

C. Exportación de resultados finales en formatos convenientes

La aplicación puede brindarnos resultados en formato (.txt) haciéndolos trabajables en diferentes programas, al elegir la opción de descargar los datos nos da la opción de seleccionar la distancia a la cual realizará el promedio aritmético del IRI, para esta investigación se utilizó el criterio de calcular el IRI cada 200 metros.

356144083533295-20190317144845-7ac8fa4-RCP_aggr: Bloc de notas

| cIRI-sensitivity: 1,5 | eIRI-sensitivity 1 | Distance(m) | Speed (km/h) | Altitude (m) | Grade (%) | eIRI | cIRI | RoadId |
|-----------------------|--------------------|--------------------|--------------|--------------|-----------|--------|------|--------------|
| 17/03/2019 14:48:45 | -13,508058 | -71,927049 | 200 | 61,28 | 3593,29 | 0 | 1,47 | 0,92 ... 005 |
| 17/03/2019 14:48:58 | -13,500903143346 | -71,9288019018267 | 400 | 57,78 | 3582,64 | -5,32 | 1,7 | 1,27 ... 005 |
| 17/03/2019 14:49:11 | -13,5024979991926 | -71,9281649854103 | 600 | 75,36 | 3576,7 | -2,97 | 1,62 | 1,26 ... 005 |
| 17/03/2019 14:49:20 | -13,503606123878 | -71,9269511500305 | 800 | 75,3 | 3569,2 | -3,75 | 1,47 | 0,94 ... 005 |
| 17/03/2019 14:49:34 | -13,5038982092033 | -71,9255885157236 | 1000 | 64,91 | 3562,79 | -3,21 | 1,68 | 1,15 ... 005 |
| 17/03/2019 14:49:47 | -13,5031703795529 | -71,9248821796637 | 1200 | 60 | 3560,85 | -0,97 | 1,76 | 1,45 ... 005 |
| 17/03/2019 14:49:59 | -13,5037036438704 | -71,9225565141843 | 1400 | 66,69 | 3562,92 | 1,04 | 1,38 | 1 ... 005 |
| 17/03/2019 14:50:11 | -13,5046973961431 | -71,9210535636366 | 1600 | 67,85 | 3560,38 | -1,27 | 1,41 | 1,03 ... 005 |
| 17/03/2019 14:50:23 | -13,505492513886 | -71,9194994213027 | 1800 | 62,71 | 3556,23 | -2,08 | 1,53 | 1,07 ... 005 |
| 17/03/2019 14:50:35 | -13,506270010916 | -71,9176296908357 | 2000 | 66,8 | 3552,92 | -1,66 | 1,95 | 1,24 ... 005 |
| 17/03/2019 14:50:46 | -13,5073357450406 | -71,9161108441408 | 2200 | 69,97 | 3543,27 | -4,82 | 1,92 | 1,16 ... 005 |
| 17/03/2019 14:50:56 | -13,5085653314119 | -71,9149149878359 | 2400 | 60,4 | 3529,54 | -6,87 | 1,68 | 1,14 ... 005 |
| 17/03/2019 14:51:08 | -13,5099300977341 | -71,9138729985829 | 2600 | 59,46 | 3515,19 | -7,18 | 1,41 | 0,85 ... 005 |
| 17/03/2019 14:51:23 | -13,51085662422 | -71,9121933799531 | 2800 | 63 | 3500,05 | -7,57 | 1,4 | 0,62 ... 005 |
| 17/03/2019 14:51:42 | -13,5124301659057 | -71,91117685632657 | 3000 | 68,64 | 3483,8 | -8,12 | 1,3 | 0,66 ... 005 |
| 17/03/2019 14:52:01 | -13,5137136619574 | -71,9102988475412 | 3200 | 63,82 | 3467,57 | -8,11 | 1,74 | 1 ... 005 |
| 17/03/2019 14:52:14 | -13,514838720823 | -71,9089548729539 | 3400 | 60,08 | 3459,16 | -4,21 | 1,47 | 0,83 ... 005 |
| 17/03/2019 14:52:32 | -13,5161819571007 | -71,9078303304734 | 3600 | 60,59 | 3453,79 | -2,68 | 2,21 | 1,04 ... 005 |
| 17/03/2019 14:52:50 | -13,5180329222589 | -71,9078491488372 | 3800 | 58,96 | 3445,25 | -4,27 | 2,1 | 1,17 ... 005 |
| 17/03/2019 14:53:01 | -13,5194636591149 | -71,9085181812501 | 4000 | 61,39 | 3427,54 | -8,86 | 2,38 | 1 ... 005 |
| 17/03/2019 14:53:13 | -13,521265216731 | -71,9087392007916 | 4200 | 67,27 | 3409,71 | -8,91 | 1,57 | 1,25 ... 005 |
| 17/03/2019 14:53:26 | -13,5230410497381 | -71,9088266686364 | 4400 | 62,59 | 3392,42 | -8,65 | 1,68 | 1,13 ... 005 |
| 17/03/2019 14:53:37 | -13,524661203344 | -71,9092616641092 | 4600 | 66,31 | 3378,17 | -7,12 | 1,65 | 1,26 ... 005 |
| 17/03/2019 14:53:48 | -13,5264739553087 | -71,9094730225917 | 4800 | 61,56 | 3359 | -9,58 | 2,02 | 1,3 ... 005 |
| 17/03/2019 14:54:00 | -13,5283238276352 | -71,9100911366677 | 5000 | 54,69 | 3336,88 | -11,06 | 3,13 | 1,65 ... 005 |

Figura 40. Lista de datos obtenidos y exportados en formato (.txt)

Una vez obtenidos los datos se copiaron a una hoja Excel para presentarlos de manera ordenada y quitando los datos que no son necesarios.

Tabla 8. Muestra de datos obtenidos y exportados en Excel.

| DateTime | Latitude | Longitude | Distance (m) | Speed (km/h) | Altitude (m) | eIRI | cIRI |
|------------------|----------------------|----------------------|--------------|--------------|--------------|------|------|
| 17/03/2019 14:42 | -13,531,451 | -71,910,506 | 200 | 58,89 | 3317,08 | 2,13 | 0,8 |
| 17/03/2019 14:42 | -135,299,139,175,311 | -719,103,085,541,755 | 400 | 68,49 | 3334,21 | 2,35 | 1,05 |
| 17/03/2019 14:43 | -13,528,151,344,558 | -719,099,986,295,437 | 600 | 66,94 | 3349,71 | 3,51 | 1,75 |
| 17/03/2019 14:43 | -13,526,455,943,429 | -719,094,331,937,896 | 800 | 60,66 | 3367,69 | 1,64 | 0,87 |
| 17/03/2019 14:43 | -135,244,968,517,998 | -719,092,166,385,916 | 1000 | 64,09 | 3381,38 | 1,76 | 0,92 |
| 17/03/2019 14:43 | -135,229,758,400,641 | -719,087,567,590,298 | 1200 | 63,56 | 3398,94 | 1,68 | 1,08 |
| 17/03/2019 14:44 | -135,210,504,632,504 | -7,190,871,414,635 | 1400 | 63,46 | 3420 | 1,69 | 1,13 |
| 17/03/2019 14:44 | -135,194,298,553,209 | -719,085,055,833,215 | 1600 | 67,2 | 3436,9 | 1,42 | 0,76 |
| 17/03/2019 14:44 | -135,176,979,089,857 | -719,078,989,990,359 | 1800 | 66,81 | 3447 | 2,37 | 1,02 |
| 17/03/2019 14:44 | -135,160,652,856,675 | -719,078,241,516,121 | 2000 | 65,83 | 3451,61 | 1,84 | 1,27 |
| 17/03/2019 14:45 | -135,146,315,058,783 | -719,091,600,537,861 | 2200 | 65,32 | 3459,8 | 3,36 | 1,28 |
| 17/03/2019 14:45 | -135,137,174,675,127 | -719,102,406,619,264 | 2400 | 63,78 | 3474,07 | 2,28 | 1,11 |
| 17/03/2019 14:45 | -135,122,196,061,128 | -719,118,235,126,281 | 2600 | 62,28 | 3492,67 | 1,51 | 0,88 |
| 17/03/2019 14:45 | -135,107,235,424,613 | -71,912,363,448,942 | 2800 | 62,73 | 3508,5 | 1,85 | 1,22 |
| 17/03/2019 14:46 | -135,097,745,361,201 | -719,139,891,565,479 | 3000 | 69,87 | 3521,33 | 1,98 | 1,3 |
| 17/03/2019 14:46 | -135,081,963,218,886 | -719,153,393,095,987 | 3200 | 71,07 | 3534,2 | 2,11 | 1,4 |
| 17/03/2019 14:46 | -135,070,114,545,313 | -71,916,324,362,217 | 3400 | 72,45 | 3543 | 1,82 | 1,42 |
| 17/03/2019 14:46 | -135,061,094,138,606 | -719,180,047,845,352 | 3600 | 82,31 | 3548 | 1,7 | 1,37 |
| 17/03/2019 14:46 | -135,056,157,343,153 | -719,192,577,832,322 | 3800 | 77,1 | 3551,64 | 1,82 | 1,21 |
| 17/03/2019 14:46 | -135,046,736,562,761 | -719,210,970,586,822 | 4000 | 73,24 | 3554,42 | 1,63 | 1,26 |
| 17/03/2019 14:47 | -135,034,945,908,036 | -719,228,107,559,894 | 4200 | 71,16 | 3554,82 | 2,01 | 1,59 |
| 17/03/2019 14:47 | -135,032,292,833,988 | -719,246,335,936,295 | 4400 | 69,48 | 3558,08 | 1,79 | 1,23 |
| 17/03/2019 14:47 | -135,039,910,983,038 | -719,256,371,591,148 | 4600 | 70,69 | 3564 | 1,62 | 0,91 |
| 17/03/2019 14:47 | -13,503,553,419,436 | -719,269,663,084,636 | 4740 | 75,28 | 3571 | 2,05 | 1,5 |

3.6.2. Procedimiento de análisis de datos RPAS

El procedimiento para realizar el análisis de datos con el RPAS es el siguiente:

- Generación de nube de puntos en Agisoft PhotoScan.
- Generación de ahuellamiento en Global Mapper.
- Exportación de perfiles.
- Análisis en ProVAL.

Para la presente investigación se obtuvieron un total de 75840 datos, producto del alineamiento realizado, considerando los 4 ahuellamientos realizados, de inicio a fin de la carretera en estudio, considerando los 4,74 kilómetros.

Por motivos de impresión de la tesis, en los anexos se colocaron 1600 datos correspondientes a los 200 metros en sentido de subida del kilómetro 3.2 hasta el kilómetro 3.4 considerando los dos ahuellamientos.

A. Generación de nube de puntos en Agisoft PhotoScan

Para generar la nube de puntos, se utilizó el programa Agisoft PhotoScan, para lo cual se usaron las fotografías obtenidas por el RPAS, con las cuales se generó el modelo 3d a partir de fotografías 2d.

El software a utilizar fue Agisoft PhotoScan, en el cual las imágenes son procesadas; para la investigación se obtuvieron un total de 3010 fotografías, las cuales fueron procesadas en conjunto para poder tener un único procesamiento en general.

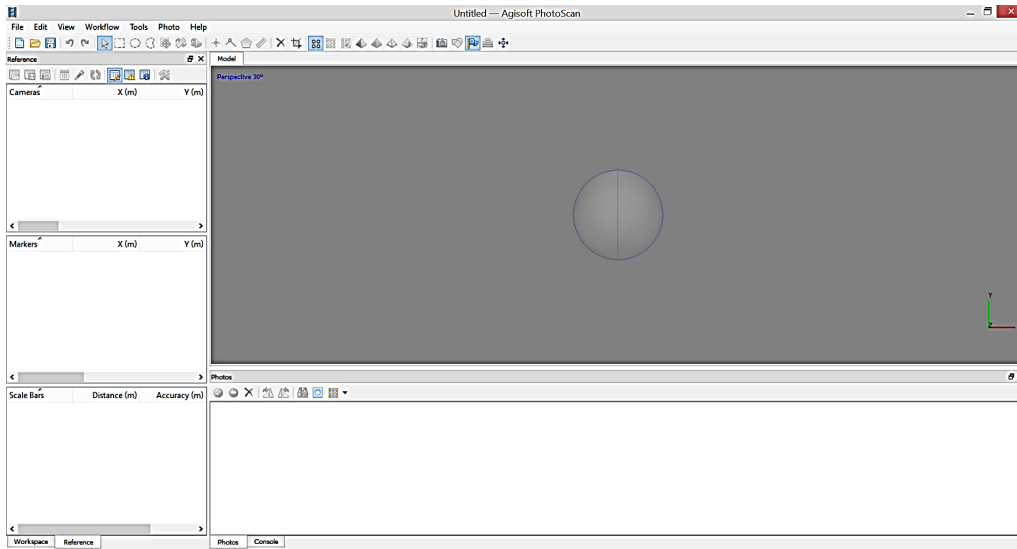


Figura 41. Inicio software Agisoft PhotoScan.

Primero se realiza una importación de las fotografías al programa.

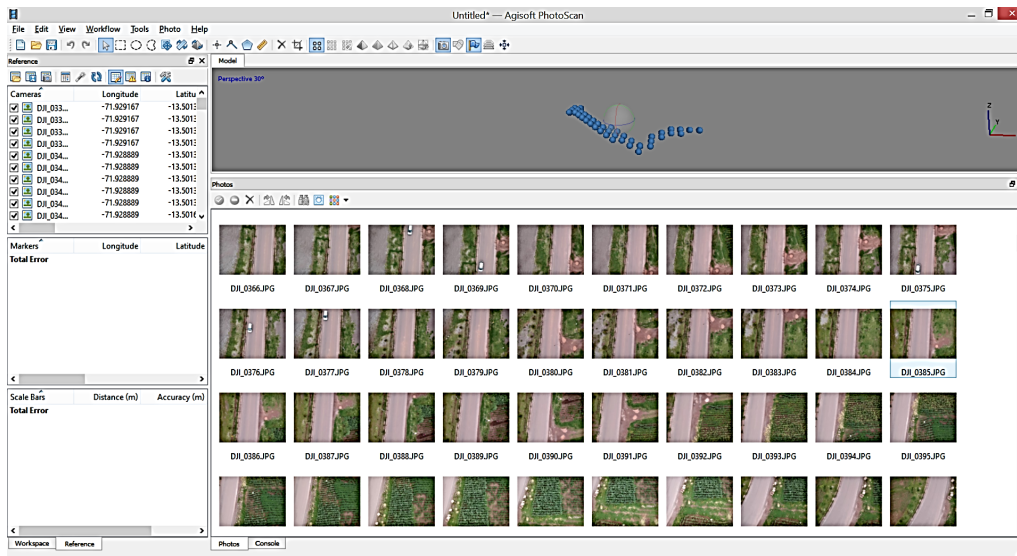


Figura 42. Fotografías ingresadas al software Agisoft PhotoScan.

Con las fotografías ya cargadas al programa, se procede a realizar el alineamiento de las fotografías, esto servirá para identificar el traslape que utilizamos en la toma de datos y el programa pueda montar las imágenes una sobre otra y así generar el modelo 3d.

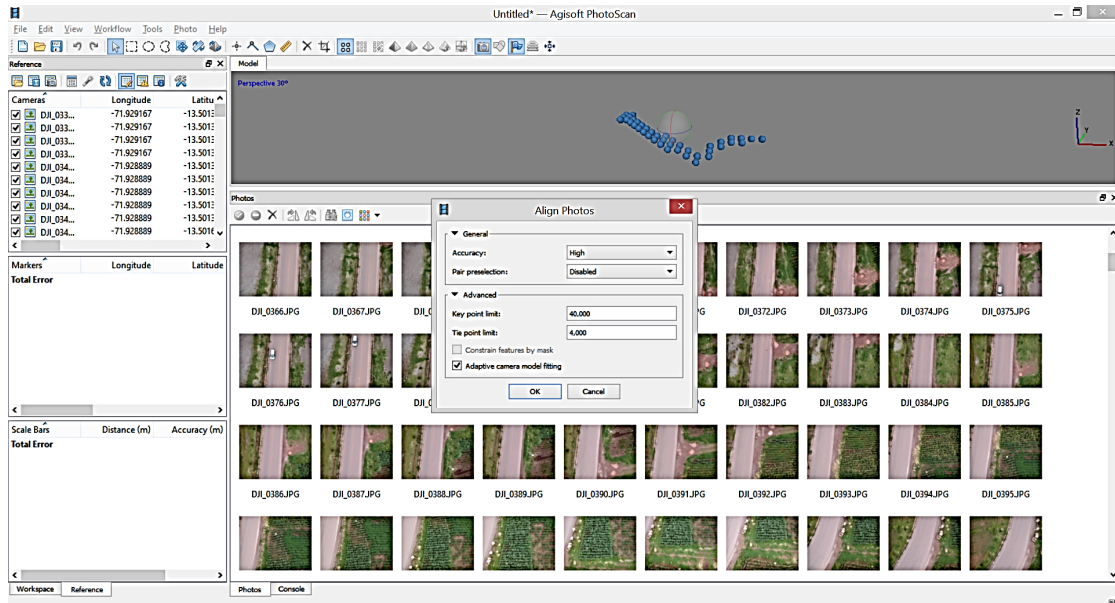


Figura 43. Alineamiento de fotografías en el software Agisoft PhotoScan.

Después de alinear las fotografías, tenemos que referenciar el levantamiento con los puntos control obtenidos del GPS Diferencial GNSS, colocando sus coordenadas respectivas y su altitud. En total tenemos 10 puntos de control, cada 500 metros aproximadamente, los cuales se colocaron como marcadores en el programa.

| Markers | Longitudo | Latitude | Altitude (m) |
|---|------------|------------|--------------|
| <input checked="" type="checkbox"/> PC-01 | -71.910331 | -13.529741 | 3288.491000 |
| <input checked="" type="checkbox"/> PC-02 | -71.909363 | -13.525496 | 3331.933000 |
| <input checked="" type="checkbox"/> PC-03 | -71.908600 | -13.521800 | 3367.158000 |
| <input checked="" type="checkbox"/> PC-04 | -71.907965 | -13.516458 | 3411.622000 |
| <input checked="" type="checkbox"/> PC-05 | -71.911446 | -13.512952 | 3441.853000 |
| <input checked="" type="checkbox"/> PC-06 | -71.914454 | -13.509264 | 3482.872000 |
| <input checked="" type="checkbox"/> PC-07 | -71.918552 | -13.505949 | 3509.978000 |
| <input checked="" type="checkbox"/> PC-08 | -71.922657 | -13.502700 | 3518.573000 |

Figura 44. Ingreso de los puntos de control del levantamiento en Agisoft PhotoScan.

Una vez referenciados los marcadores, procedemos a realizar la creación de la malla.

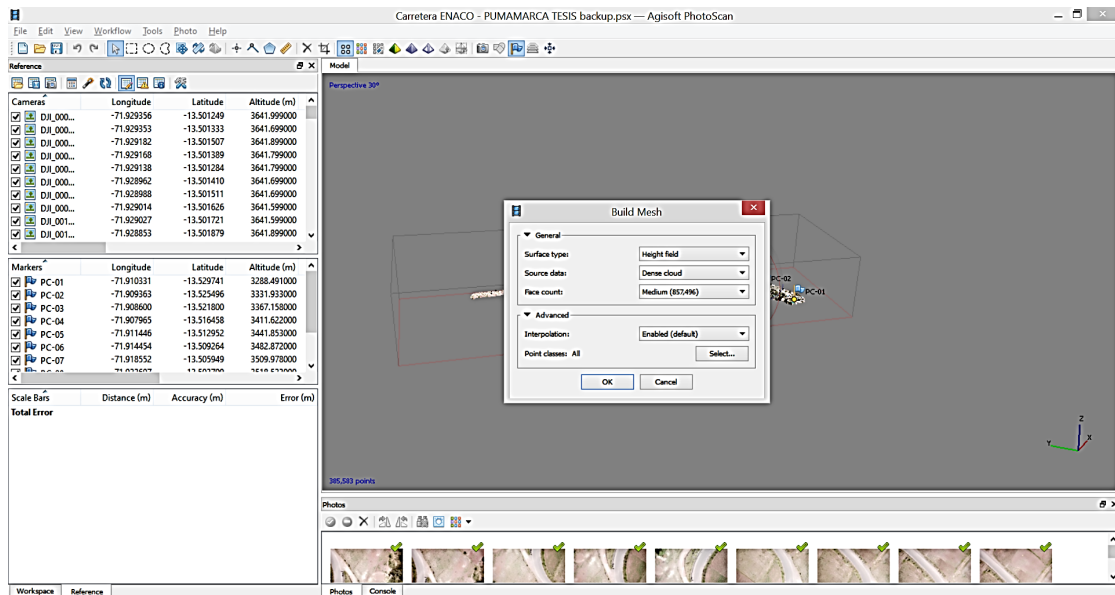


Figura 45. Creación de malla en el software Agisoft PhotoScan.

Después del procesamiento de la creación de la malla se realiza la construcción de la nube densa de puntos, este procesamiento es uno de los que más demora, pues requiere de una tarjeta de video especializada para este tipo de procesos.

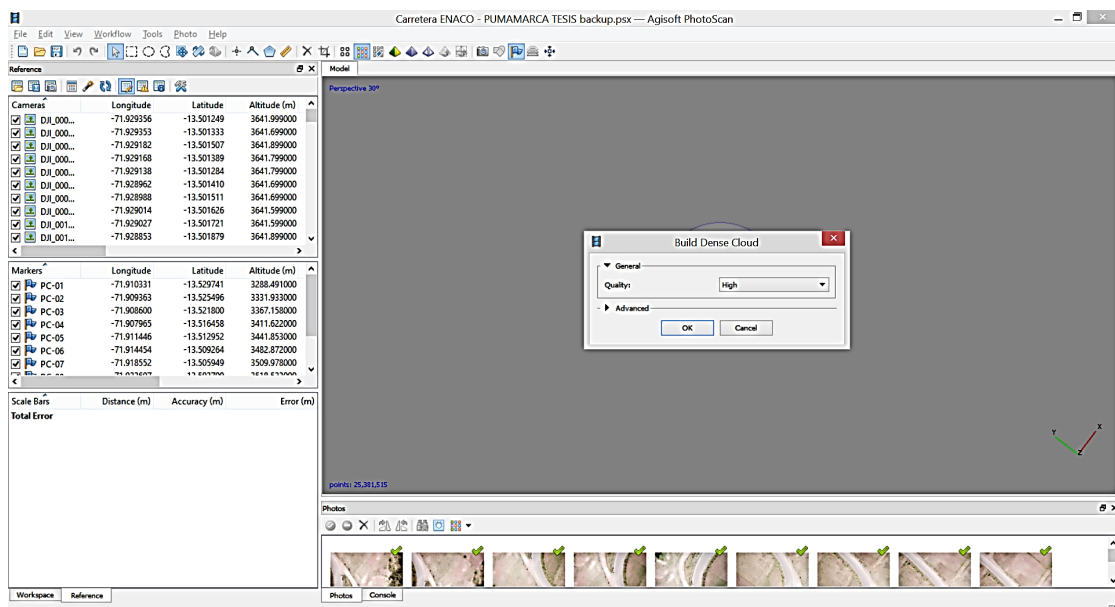


Figura 46. Creación de la nube densa en el software Agisoft PhotoScan.

Después de obtener la nube de puntos, el resultado queda así.

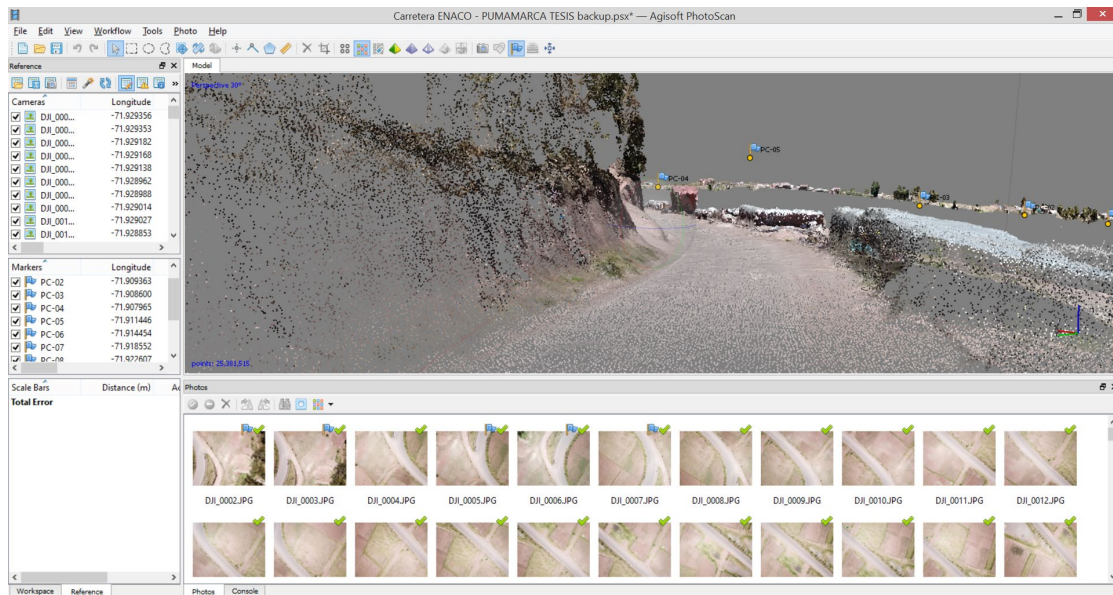


Figura 47. Nube de puntos densa en el software Agisoft PhotoScan.

Una vez obtenida la nube de puntos, se eliminó la información fuera del área de interés a través de cortes para poder procesar los datos más rápido.

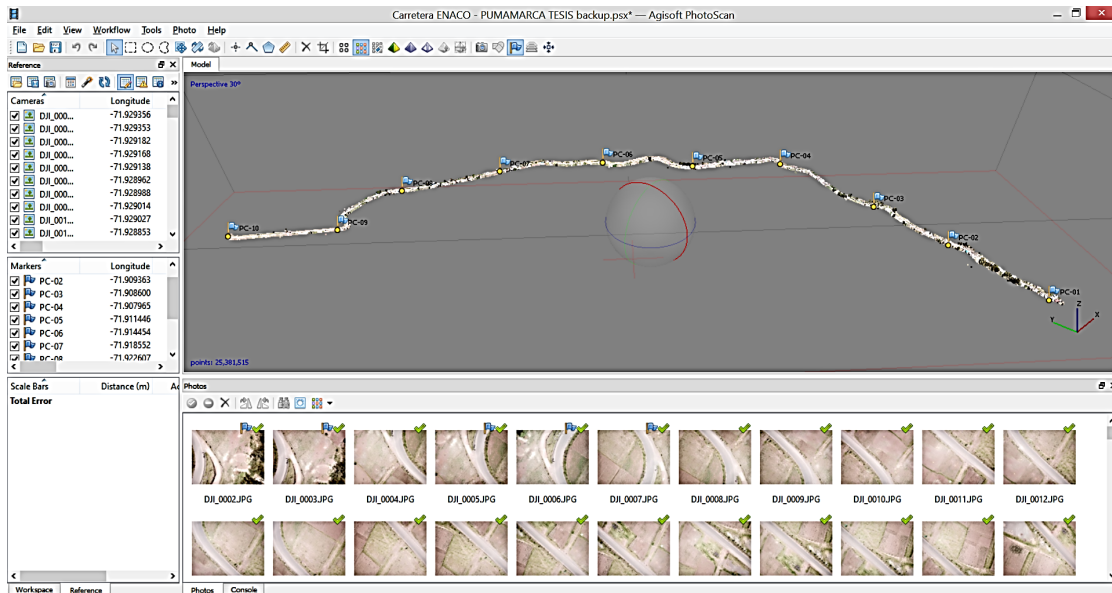


Figura 48. Selección de datos de interés en el software Agisoft PhotoScan.

Dividimos la carretera en tramos cada 200 metros, para poder así obtener los valores de los ahuellamientos en esa medida; utilizamos el mismo software Agisoft PhotoScan para realizar la medición.



Figura 49. Creación de tramos de 200m en el software Agisoft PhotoScan.

Se obtuvo un total de 24 tramos de 200 metros cada uno, luego se exporto cada tramo en formato .LAZ, formato aceptado por el software Global Mapper para poder realizar los alineamientos en la carretera.

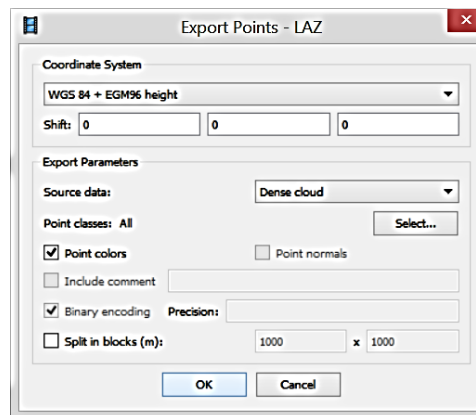


Figura 50. Exportación de puntos en formato .LAZ para ser usados en Global Mapper.

B. Generación de ahuellamiento en Global Mapper

Continuando el procedimiento de análisis de los datos, una vez exportados los tramos en formato .LAZ, se procedió a obtener el perfil de los ahuellamientos de la carretera con el software Global Mapper.

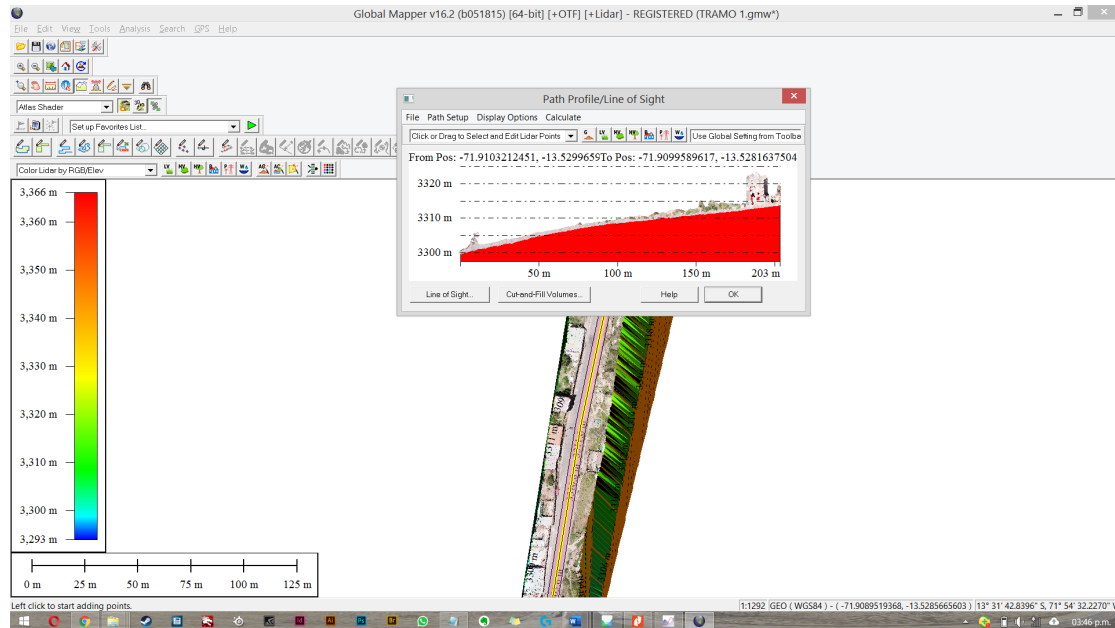


Figura 51. Obtención del perfil de los ahuellamientos con el software Global Mapper.

Para este estudio realizamos 2 alineamientos por sentido, identificando las huellas marcadas por los neumáticos de los vehículos.

C. Exportación de perfiles

Cada alineamiento de cada ahuellamiento se exporta en formato .CSV configurando el alineamiento para que genere curvas cada 0.25 m.

D. Análisis en ProVAL 3.6.1

Posteriormente se importaron los datos de cada ahuellamiento al software ProVAL 3.6.1 en el cual se realizará el cálculo del IRI mediante el método del cuarto de carro.

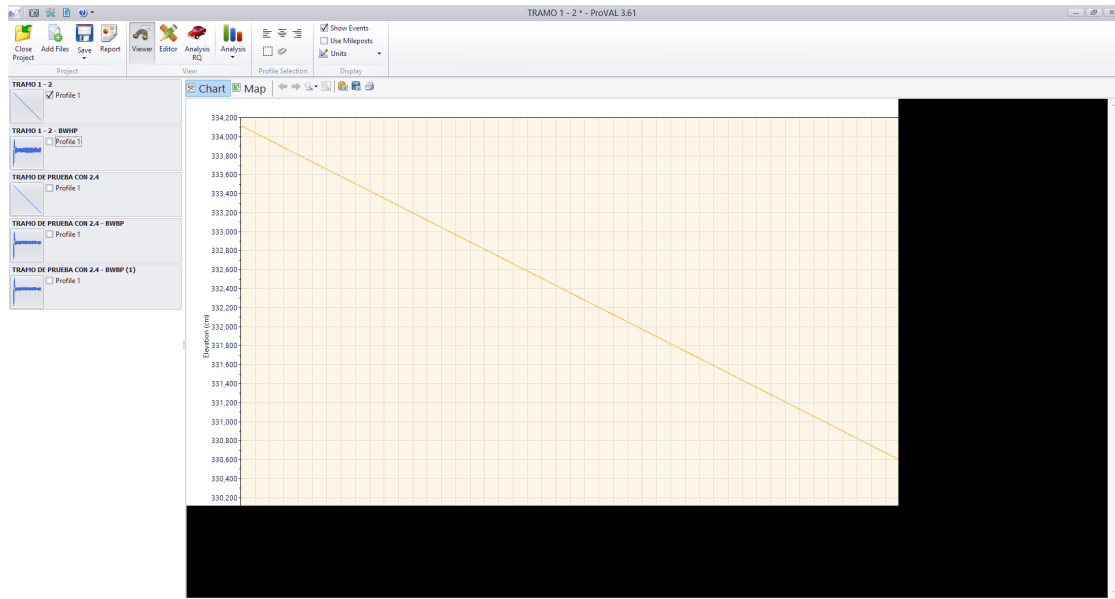


Figura 52. Ingreso de datos en el software ProVAL 3.6.1.

Una vez importados los datos del programa se aplicó el filtro Butterworth Band-pass. El cual realiza una corrección de perfil.

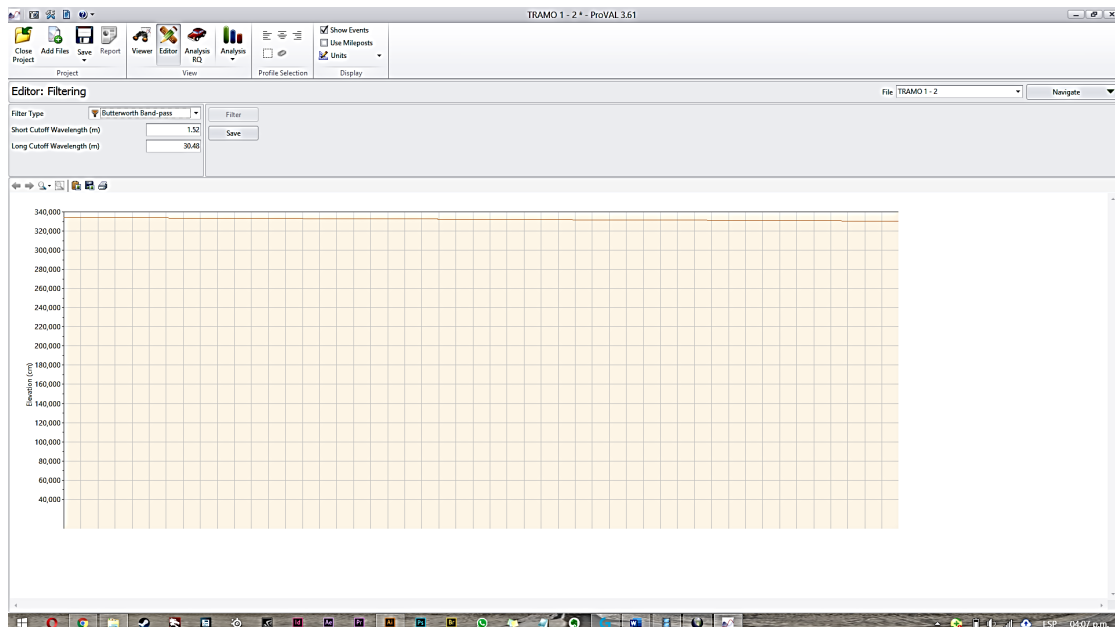


Figura 53. Aplicación del filtro Butterworth Band-pass en el software ProVAL 3.6.1.

Después de realizar la corrección de perfil se procede a realizar el análisis del IRI.

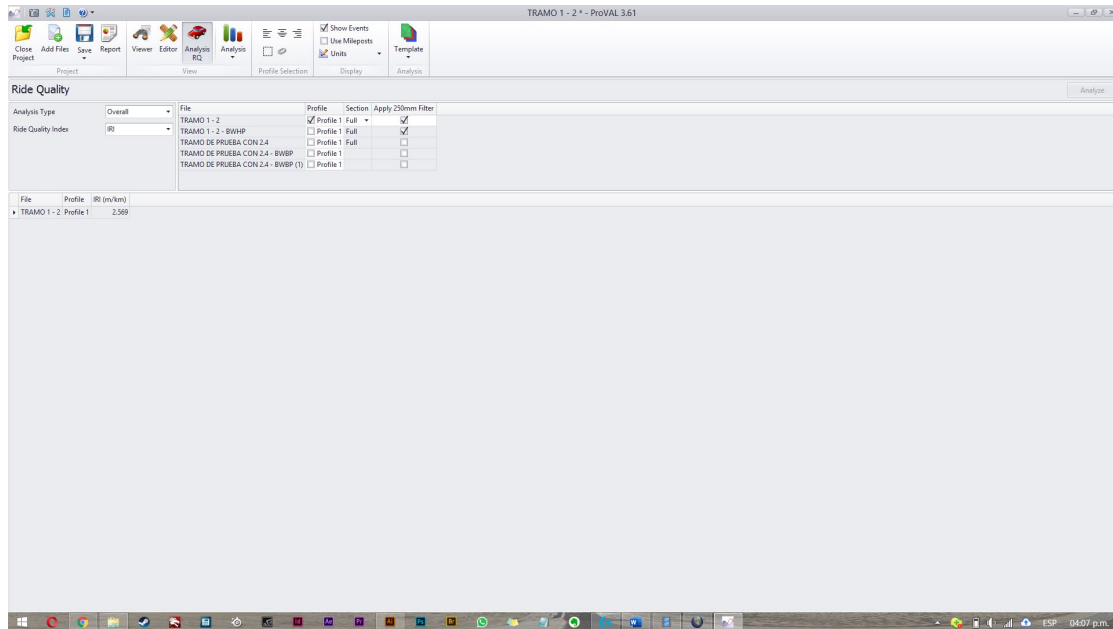


Figura 54. Análisis del IRI en el software ProVAL 3.6.1.

3.6.3. Dificultad de recolección de datos

Para determinar la dificultad de recolección de datos se realizó una tabla en la que se muestra la cantidad de procesos y el tiempo empleado para la recolección de datos de ambos equipos.

3.6.3.1. Dificultad de recolección de datos para Smartphone

La recolección de datos mediante el uso de la aplicación Roadroid instalada en un Smartphone tiene 8 procesos, los cuales fueron realizados en un tiempo total de 24 minutos, los cuales fueron contabilizados utilizando la aplicación Boosted, en la cual se contabilizó el total del tiempo empleado para la recolección de datos para Smartphone.

Tabla 9. Dificultad de recolección de datos para Smartphone.

| Procesos de recolección Roadroid | Tiempo en minutos |
|---|-------------------|
| Proceso de recolección de datos | 24 |
| Ingreso de Usuario y contraseña | 1 |
| Instalación de soporte para Smartphone | 3 |
| Instalación de smartphone en soporte | 1 |
| Configuración de aplicación para tipo de vehículo | 1 |
| Calibración de smartphone en vehículo | 2 |
| Puesta en marcha de vehículo | 2 |
| Inicio de recolección de datos | 13 |
| Fin de recolección de datos | 1 |
| Total: | 24 |

En la tabla mostrada anteriormente se puede ver que el mayor tiempo empleado para la recolección de datos es de 13 minutos, los cuales corresponden al tiempo que demoró el vehículo en recorrer de inicio a fin en sentido de ida y vuelta.

3.6.3.2. Dificultad de recolección de datos para RPAS

El obtener datos mediante un RPAS está compuesto de 4 procesos fundamentales, como son: la planificación de vuelo en gabinete, la planificación de vuelo en campo, el pre vuelo y el vuelo. Dentro de estos 4 procesos cada uno presenta actividades propias, las cuales son las que determinarán el tiempo de la recolección de datos.



Tabla 10. Dificultad de recolección de datos para RPAS.

| Procesos de recolección de datos para RPAS | Tiempo en minutos |
|--|-------------------|
| Planificación de vuelo en campo | 203 |
| Verificar las condiciones climáticas de la zona | 1 |
| Verificar la ruta de vuelo | 5 |
| Verificar los obstáculos en la zona de vuelo | 10 |
| Verificar altura máxima de obstáculos | 1 |
| Verificar condiciones electromagnéticas de la zona | 1 |
| Colocar Puntos de Control | 180 |
| Reajustar plan de vuelo | 5 |
| Planificación de vuelo en gabinete | 57 |
| Inspección visual en software | 2 |
| Verificar condiciones técnicas del equipo | 5 |
| Verificar hélices | 1 |
| Verificar baterías | 1 |
| Verificar el control a distancia | 1 |
| Verificar SD | 5 |
| Verificar el empaquetado del equipo | 2 |
| Elección de GSD | 10 |
| Elección del traslape | 10 |
| Realizar plan de vuelo | 20 |
| Pre Vuelo | 30 |
| Verificar zona de despegue y aterrizaje | 2 |
| Verificar condiciones climáticas | 2 |
| Verificar plan de vuelo | 5 |
| Verificar calibración del equipo | 5 |
| Verificar baterías | 2 |
| Verificar la señal del RPAS | 2 |
| Verificar cantidad de satélites enlazados | 2 |
| Verificar obstáculos | 5 |
| Vuelo | 96 |
| Verificar estabilidad durante prueba | 1 |
| Inicio de vuelo | 2 |
| Vuelo (Vuelo efectivo) | 90 |
| Verificar telemetría durante el vuelo | - |
| Verificar cámara en vivo | - |
| Verificar que se cumpla el plan de vuelo | - |
| Verificar obstáculos mediante binoculares | - |
| Verificar retorno y descenso de RPA | 2 |
| Verificar condiciones técnicas del equipo | 1 |
| Total: | 386 |

En la tabla mostrada anteriormente podemos apreciar que la mayor cantidad de tiempo empleado fue por la colocación de puntos, actividad que comprende la colocación de puntos de control y referenciación con GPS GNSS Diferencial, dicha actividad se realizó en un total de 180 minutos, los cuales fueron contabilizados utilizando la aplicación Boosted, en la cual se realizó la medición de todas las actividades.

La segunda actividad con mayor incidencia es la del vuelo efectivo, con un total de 90 minutos comprende la recolección de datos del RPAS, en la totalidad de la carretera en estudio.

3.6.3.3. Comparación de las dificultades de recolección de datos

Se realizó la comparación entre los procesos de recolección de datos de ambos métodos, de los cuales como resultado se obtuvo el siguiente cuadro.

Tabla 11. Comparación de la dificultad de recolección de datos.

| Proceso de Recolección de datos | # Actividades | # Sub Actividades | Tiempo (Min) |
|---------------------------------|---------------|-------------------|--------------|
| Smartphone | 1 | 8 | 24 |
| RPAS | 4 | 30 | 386 |

- La recolección de datos mediante el Smartphone tiene un total de 1 actividad, con 8 sub actividades con un tiempo total de 24 minutos.
- La recolección de datos mediante el RPAS tiene un total de 4 actividades, con 30 sub actividades con un tiempo total de 386 minutos.
- La dificultad de recolección de datos del Smartphone es menor a la recolección de datos del RPAS.

3.6.4. Dificultad de procesamiento de datos.

El procesamiento de los datos obtenidos con ambos métodos se realizó en gabinete, utilizando los datos obtenidos de la recolección de ambos métodos.

3.6.4.1. Dificultad de procesamiento de datos con Smartphone.

El procesamiento de datos con Smartphone se realizó con una actividad y 6 sub actividades, en un tiempo total de 20 minutos.

Tabla 12. Dificultad de procesamiento de datos con Smartphone.

| Procesos para procesamiento de datos para Roadroid | Tiempo en minutos |
|--|-------------------|
| Proceso de procesamiento de datos | 20 |
| Ingreso de usuario y contraseña | 1 |
| Descarga de datos | 5 |
| Visualización de datos en mapa | 5 |
| Exportación de datos en formato .txt | 3 |
| Importación a Excel | 2 |
| Análisis de IRI | 4 |
| Total: | 20 |

3.6.4.2. Dificultad de procesamiento de datos con RPAS

El procesamiento de datos mediante el RPAS tiene 3 actividades, con 14 sub actividades en un total de 405 minutos.

Tabla 13. Dificultad de procesamiento de datos con RPAS.

| Procesos para procesamiento de datos para RPAS | Tiempo en minutos |
|--|-------------------|
| Creación de nube de puntos en AgisoftPhotoscan | 293 |
| Importación de fotografías al software | 5 |
| Alineamiento de fotografías | 35 |
| Referenciación de puntos de control | 5 |
| Creación de malla de puntos | 49 |
| Creación de nube densa de puntos | 126 |
| Cortes de terreno sobrante | 25 |
| Exportación en formato .LAZ | 48 |
| Generación de ahuellamiento en Global Mapper | 91 |
| Importación de formato .LAZ | 2 |
| Creación de malla | 25 |
| Creación de ahuellamientos | 39 |
| Exportación en formato CSV | 25 |
| Análisis ProVAL | 21 |
| Importación de formato CSV | 5 |
| Corrección de perfil | 8 |
| Análisis de IRI | 8 |
| Total: | 405 |

3.6.4.3. Comparación de la dificultad de Procesamiento de datos

Se realizó una comparación de procesamientos de datos, mediante los dos métodos, donde se encontró una gran diferencia entre el método del Smartphone y del RPAS, resultando el tiempo de procesamiento de datos del Smartphone mucho menor que del RPAS.

Tabla 14. Comparación de la dificultad de procesamiento de datos.

| Proceso de Procesamiento de datos | # Actividades | # Sub Actividades | Tiempo (Min) |
|-----------------------------------|---------------|-------------------|--------------|
| Smartphone | 1 | 6 | 20 |
| RPAS | 3 | 14 | 405 |

3.6.5. Costos estimados para la obtención del IRI

3.6.5.1. Cálculo de costos para medición de IRI mediante Smartphone

Para calcular el costo estimado para la obtención del IRI mediante el Smartphone se realizó una evaluación económica del precio unitario por kilómetro, el resultado de este análisis es el análisis de precio unitario que se presenta a continuación.

Tabla 15. Análisis de precios unitarios para la medición del IRI mediante Smartphone (usando la aplicación Roadroid).

| PARTIDA: Medición de IRI con Roadroid | | | | | |
|--|--------|-----------|----------|----------|-------------|
| Rendimiento: km/día | | MO.: 100 | | EQ.: 100 | |
| Descripción del Recurso | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio | Parcial |
| Mano de Obra | | | | | |
| Operador | hh | 1 | 0.08 | 23.77 | 1.90 |
| Conductor | hh | 1 | 0.08 | 22.92 | 1.83 |
| | | | | | 3.74 |
| Equipos | | | | | |
| Roadroid (Hardware + Software) | hm | 1 | 0.08 | 0.73 | 0.06 |
| Camioneta | hm | 1 | 0.08 | 18.75 | 1.50 |
| Herramientas Manuales | %MO | | 3 | 3.74 | 0.11 |
| | | | | | 1.67 |
| Costo unitario directo por: Km. | | | | | 5.41 |



Para el análisis de esta partida se considera que el operador es un personal capacitado para poder realizar la calibración del dispositivo para el ensayo, el cual también es responsable de iniciar y terminar el cálculo del IRI con el Smartphone cuando el vehículo se encuentre con las condiciones ideales para el estudio, el precio del operador se considera como operario topográfico, obtenido de CAPECO.

El conductor, personal capacitado para poder manejar el vehículo a las velocidades indicadas manteniendo la seguridad del vehículo y su entorno, el precio de este es considerado como operador, obtenido de CAPECO.

Dentro de los equipos utilizados para esta partida el Roadroid (Hardware + Software) se considera 650 dólares, costo estimado brindado por Roadroid que incluye un Hardware (Smartphone) y el Software (la licencia del programa por un año), ver **figura 57**; del cual se realiza el análisis para el costo unitario por hora.

El precio de la camioneta es un valor referencial obtenido de cotizaciones hechas a empresas que se dedican al rubro del alquiler de maquinaria, la camioneta se alquila sin considerar el precio del conductor y considerando el combustible para el día de trabajo.

En herramientas manuales se considera el costo del soporte del celular que se acopla al parabrisas.

3.6.6. Precisiones obtenidas

Para poder hablar de la precisión a la que llegamos con la obtención del IRI tenemos que analizar la clase a la que pertenece el método mediante el cual estamos obteniendo la información que será procesada para convertirse en un valor, en este caso el IRI.

3.6.6.1. Precisión obtenida con RPAS

El método del RPAS utiliza el análisis del cuarto de carro, utilizando un perfil longitudinal en cada ahuellamiento de la calzada de la vía en estudio, como el método del cuarto de carro pertenece a la clase 1 según el Banco Mundial, entonces la precisión depende de la confiabilidad de los datos obtenidos para el perfil longitudinal. Al utilizar un RPAS para esta obtención de información nosotros podemos asumir un error igual al que nos brinda el software de procesamiento. Cabe resaltar que para el procesamiento utilizamos puntos de control, los cuales sirven justamente para ajustar los valores obtenidos de la nube de puntos al terreno real, ocasionando que el software pueda reestructurar la nube de puntos



y entregarnos errores mínimos. En este caso el software nos entrega un error de 0.05 centímetros cada 100 metros, obteniendo así un error de 0.008 metros por kilómetros en el reporte que nos entrega el software.

3.6.6.2. Precisión obtenida con Smartphone

El método del Smartphone utiliza una fórmula de conversión línea, la cual pertenece a la clasificación 3 según el Banco Mundial, por lo que el error asumido por este será de 0.5m/km para el valor final del IRI, esta información se debe asumir al valor final promedio obtenido, y debido a que los cálculos los realiza el smartphone y el software Roadroid no podemos utilizar la información para estimar un error estadístico, pues no tenemos acceso a los datos que utiliza el software por lo que debemos cumplir con los requerimientos técnicos que nos pone para que el valor del error se mantenga en lo menor posible.

Price examples – Roadroid

Cloud based systems for Roughness data and Road inventory's
2014-12-17



| Items | Demo RDC+RI app 2 months | Example 1 Inventory 12 months | Example 2 Roughness 12 months | Example 3 RIU+RDCU 12 months | Example 4 Inventory 24 months | Example 5 RIU+RDCU 36 months | Example 6 Roughness 48 months |
|--|--|-------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|
| Road Inventory unit (RIU) <i>For manual/visual assessment. Logging of +100 road parameters with GPS coordinates, altitude and speed. Software: Installed and configured, software updates during the license period.</i> | Download and installation at your own Android. | 1 | 0 | 1 | 4 | 5 | 10 |
| Road data management system - Inventory (RDMS-I) <i>Login to web tool, viewing of inventory data on map. 100+ layer monitoring. Section aggregation and spatial data creator (make shape files from your data).</i> | | 1 | 0 | 1 | 4 | 5 | 10 |
| Roughness data collection units (RDCU): <i>Hardware: Android unit, including car mounting devices Software: Installed and configured.</i> | No support! | 0 | 1 | 1 | 0 | 5 | 0 |
| Road data management system – Roughness (RDMS-R) <i>Login to web tool. Viewing of data on map. Photo and layer monitoring. Polygon analyze tool, section aggregation and spatial data creator (make shape files from your data).</i> | No hardware. | 0 | 1 | 1 | 0 | 5 | 0 |
| Summary cost per unit/month | FREE | 585 | 650 | 450 | 200 | 175 | 190 |

PRICES ARE IN US DOLLAR, EXCLUSIVE OF ANY LOCAL TAXES/FEEES

Notes:

- Prices are including data collection units include hardware with installed and configured software. Broken hardware can be replaced at a cost of 500 USD/unit.
- Updates of the data collection software and the web data management service are provided during the binding period.
- Custom support or consulting services, such as special reports or data exports, can be supplied on demand at an hourly rate.
- On-site training and workshops by our professionals can be quoted on demand.
- Prices are based on full payment at delivery. Annual payments in advance are offered at a 10% surcharge. Monthly payments are possible at 15% surcharge.

Lars Forslöf, CEO/Founder

Figura 55. Ejemplo de precios propuestos por Roadroid.

Fuente: www.Roadroid.com

El costo total considerando los 4.74 kilómetros de carretera y un costo unitario de 5.41 soles por kilómetro (Tabla 15), será de 25.62 soles.

3.6.6.3. Cálculo de costos para medición de IRI con RPAS

El costo de la medición del IRI con RPAS se calculó haciendo un análisis de precios unitarios.

El análisis de precios unitarios para levantamiento topográfico con RPAS (Ancho: 20 metros), se realizó considerando los materiales, equipos y herramientas que intervienen en el desarrollo de la actividad. Esta considera un rendimiento en Km/día, considerando un ancho fijo de 20 metros, esta decisión se tomó debido a que el objetivo del levantamiento es obtener un alineamiento a detalle de la calzada de la carretera, por lo que 20 metros es suficiente para este análisis.

Tabla 16. Análisis de precios unitarios para levantamiento topográfico con RPAS.

| Partida: Levantamiento topográfico con RPAS DJI SPARK (Ancho: 20 metros) | | | | | |
|---|--------|-----------|----------|--------|--------------|
| Rendimiento: Km/día | | MO.: 10 | EQ.: 10 | | |
| Descripción del Recurso | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio | Parcial |
| Mano de Obra | | | | | |
| Operador | hh | 1 | 0.8 | 23.77 | 19.02 |
| Asistente | hh | 1 | 0.8 | 18.36 | 14.69 |
| | | | | | 33.70 |
| Equipos | | | | | |
| RPAS DJI SPARK | hm | 1 | 0.8 | 12.04 | 9.63 |
| Herramientas Manuales | %MO | | 3 | 33.70 | 1.01 |
| | | | | | 10.64 |
| Costo unitario directo por: km | | | | | 44.35 |

Se consideró como operador al piloto del RPAS, encargado de realizar el vuelo del RPAS, responsable y capacitado para realizar un vuelo seguro. El costo de este se considera como operario topógrafo, cuyo precio fue obtenido de CAPECO.

Se consideró como asistente al asistente de vuelo, encargado de realizar la supervisión del vuelo del RPAS, responsable y capacitado para realizar un vuelo seguro. El costo de este se consideró como oficial, cuyo precio fue obtenido de CAPECO.

Se consideró como RPAS al Dron DJI SPARK, equipado con el control remoto a distancia, un smartphone para generar el plan de vuelo y todos los accesorios necesarios.

Se consideró un rendimiento de 10 Km/día en base a nuestra experiencia y a recomendaciones del fabricante, pues el equipo no puede tener más de 4 horas de vuelo continuo, y el precio del RPAS fue obtenido de un análisis de cálculo de costo de hora máquina, como se puede ver en la *Tabla 17*.

Tabla 17. Cálculo de costo hora maquina RPAS.

| Cálculo de costo hora máquina RPAS | | | |
|---|-----------|--|--------------|
| Datos generales | | Análisis de costo horario | |
| RPAS | Spark | Valor CIF Maquinaria Importada | 2648.60 |
| Marca | DJI | Impuesto general a las ventas | 581.40 |
| Hélices | 4 | Valor de adquisición (Va) | 3230.00 |
| Vida económica | 300 | Valor de rescate o salvataje (vr) 25% | 807.50 |
| Condiciones económicas | | Costo de la maquinaria sin operar | |
| Vida útil (horas) | 300 | Depreciación (D) | 8.08 |
| Costos variables | | Costo de la maquinaria | |
| Hélices | 66 soles | Costo de la maquinaria sin operar | 8.08 |
| Vida útil hélices | 100 horas | Costo de mantenimiento y reparación | 3.30 |
| Mantenimiento | 330 soles | Hélices | 0.66 |
| Vida útil de mantenimiento | 100 horas | Costo de la máquina por hora | 12.04 |

Como herramientas manuales se consideró al uso de binoculares, plataformas de despegue y aterrizaje, y conos de seguridad.

Tabla 18. Análisis de precios unitarios, demarcación de puntos de control.

| Partida: Demarcación de puntos de control | | | | | |
|--|--------|-----------|----------|---------|--------------|
| Rendimiento: Pto/día | | MO.: 50 | | EQ.: 50 | |
| Descripción del Recurso | Unidad | Cuadrilla | Cantidad | Precio | Parcial |
| Mano de Obra | | | | | |
| Operador | hh | 1 | 0.16 | 23.77 | 3.80 |
| Asistente | hh | 1 | 0.16 | 18.36 | 2.94 |
| 6.74 | | | | | |
| Materiales | | | | | |
| Spray | Und | | 0.125 | 7.50 | 0.94 |
| Molde | Und | | 0.125 | 5.25 | 0.66 |
| 1.59 | | | | | |
| Equipos | | | | | |
| GPS GNSS | hm | 1 | 0.16 | 37.50 | 6.00 |
| Receptor GNSS | hm | 1 | 0.16 | 12.50 | 2.00 |
| Colector de datos GNSS | hm | 1 | 0.16 | 12.50 | 2.00 |
| Herramientas Manuales | %MO | | 3 | 6.74 | 0.20 |
| 10.20 | | | | | |
| Costo unitario directo por: Pto. | | | | | 18.54 |

Para esta investigación también se considera a la demarcación de puntos de control como un análisis de precios unitarios, pues tiene gran incidencia. En este caso se consideran la mano de obra, materiales y equipos utilizados para este estudio.

Se considera un operador, topógrafo con conocimientos suficientes para operar el equipo, y poder realizar el trabajo con seguridad y garantía, el costo se obtuvo de CAPECO.

En materiales se considera spray y moldes, los cuales servirán para realizar las marcas en el pavimento, el rendimiento se obtuvo de experiencias personales durante la investigación. En equipos se consideran a todos los aparatos que servirán para realizar los puntos de control, obteniendo sus precios de valores promedio de cotizaciones hechas en el mercado.

El costo total considerando los 4.74 kilómetros del tramo con un ancho de 20 metros del levantamiento con RPAS y un costo unitario de 44.35 soles por kilómetro (*tabla 16*), es de 210.21 soles, a este costo tenemos que adicionarle los 10 puntos de control utilizados, los cuales tienen un costo unitario de 18.54 soles por punto (*tabla 17*), teniendo un costo parcial de 185.37 soles, haciendo un total del 395.57 soles para la medición del IRI con RPAS, para todo el tramo en estudio.

3.6.7. Costos prácticos

El costo práctico mostrado es el costo que se generó en base a la experiencia de la investigación.

3.6.7.1. Costo práctico de medición de IRI con Smartphone.

Tabla 19. Costo práctico de medición de IRI con Smartphone

| Medición de IRI con Smartphone | | | | |
|--------------------------------|--------|----------|---------|---------|
| | Unidad | Cantidad | Precio | Parcial |
| Hardware + Software | Und | 1.00 | 2145.00 | 2145.00 |
| Soporte de parabrisas | Und | 1.00 | 20.00 | 20.00 |
| Vehículo | Und | 1.00 | 150.00 | 150.00 |
| Conductor | Und | 1.00 | 80.00 | 80.00 |
| | | | Total | 2395.00 |

Se considera un costo de 2145 soles al Hardware + Software, pues la empresa Roadroid maneja ese precio para el costo del Smartphone y un año de licencia del software, y para la investigación consideramos ese precio, el soporte del parabrisas tiene un costo de 20 soles, y el alquiler del vehículo incluyendo el combustible es de 150 soles, el costo del conductor es de 80 soles, pues se consideró solamente medio día de trabajo.

3.6.7.2. Costo práctico de medición de IRI con RPAS

Tabla 20. Costo práctico de medición de IRI con RPAS

| Medición de IRI con RPAS | | | | |
|--------------------------|--------|----------|---------|---------|
| | Unidad | Cantidad | Precio | Parcial |
| RPAS | Und | 1.00 | 3230.00 | 3230.00 |
| Alquiler de GPS GNSS | Und | 1.00 | 500.00 | 500.00 |
| Spray | Und | 2.00 | 7.50 | 15.00 |
| Moldes | Und | 2.00 | 5.20 | 10.40 |
| Binoculares | Und | 1.00 | 80.00 | 80.00 |
| Conos de seguridad | Und | 2.00 | 30.00 | 60.00 |
| Viáticos | Und | 4.00 | 10.00 | 40.00 |
| | | | Total | 3935.40 |



Se considera que el costo del RPAS es de 3230 soles, precio obtenido de la tienda autorizada de DJI Perú, incluye todos los accesorios necesarios. El costo del alquiler del GPS GNSS por día es de 500 soles, se utilizaron 2 spray y 2 moldes para hacer las demarcaciones en el pavimento, se utilizaron binoculares para hacer la supervisión del RPAS durante el vuelo, se utilizaron 2 conos de seguridad para realizar las demarcaciones en el pavimento, y se consideraron 4 viáticos pues se realizaron 2 viajes, uno para realizar la demarcación de los puntos de control y otro para realizar el vuelo. Cabe resaltar que para el procesamiento de datos obtenido con RPAS el software utilizado viene con una licencia por 12 meses, por lo que no será necesario realizar la compra del software.



Capítulo IV: Resultados

4.1. Índice de rugosidad internacional medido con Smartphone

Utilizando la aplicación Roadroid se pudo calcular el Índice Internacional de Rugosidad, para realizar este ensayo se realizaron mediciones a lo largo del tramo, iniciando el recorrido del vehículo 200 metros antes y finalizando 200 metros después, en ambos sentidos de la vía.

Las muestras se tomaron considerando algunos factores para el uso profesional de la aplicación Roadroid en pavimentos de asfalto; vehículo mediano, manteniendo una velocidad entre 60 y 80 km/h y una longitud de tramo del total de la vía en estudio.

En cuanto al uso de la aplicación se obtuvieron los siguientes resultados segmentados cada 200 metros, y se realizó una tabla con todos los resultados obtenidos, sacando promedio aritmético con los datos obtenidos por cada sentido.



Tabla 21. Datos obtenidos por la aplicación Roadroid en el sentido de bajada.

| Distance (m) | eIRI | cIRI |
|--------------|------|------|
| 200 | 1,47 | 0,92 |
| 400 | 1,7 | 1,27 |
| 600 | 1,62 | 1,26 |
| 800 | 1,47 | 0,94 |
| 1000 | 1,68 | 1,15 |
| 1200 | 1,76 | 1,45 |
| 1400 | 1,38 | 1 |
| 1600 | 1,41 | 1,03 |
| 1800 | 1,53 | 1,07 |
| 2000 | 1,95 | 1,24 |
| 2200 | 1,92 | 1,16 |
| 2400 | 1,68 | 1,14 |
| 2600 | 1,41 | 0,85 |
| 2800 | 1,4 | 0,62 |
| 3000 | 1,3 | 0,66 |
| 3200 | 1,74 | 1 |
| 3400 | 1,47 | 0,83 |
| 3600 | 2,21 | 1,04 |
| 3800 | 2,1 | 1,17 |
| 4000 | 2,38 | 1 |
| 4200 | 1,57 | 1,25 |
| 4400 | 1,68 | 1,13 |
| 4600 | 1,65 | 1,26 |
| 4740 | 2,02 | 1,3 |



Tabla 22. Datos obtenidos por la aplicación Roadroid en el sentido de Subida.

| Distance (m) | eIRI | cIRI |
|--------------|------|------|
| 200 | 2,13 | 0,8 |
| 400 | 2,35 | 1,05 |
| 600 | 3,51 | 1,75 |
| 800 | 1,64 | 0,87 |
| 1000 | 1,76 | 0,92 |
| 1200 | 1,68 | 1,08 |
| 1400 | 1,69 | 1,13 |
| 1600 | 1,42 | 0,76 |
| 1800 | 2,37 | 1,02 |
| 2000 | 1,84 | 1,27 |
| 2200 | 3,36 | 1,28 |
| 2400 | 2,28 | 1,11 |
| 2600 | 1,51 | 0,88 |
| 2800 | 1,85 | 1,22 |
| 3000 | 1,98 | 1,3 |
| 3200 | 2,11 | 1,4 |
| 3400 | 1,82 | 1,42 |
| 3600 | 1,7 | 1,37 |
| 3800 | 1,82 | 1,21 |
| 4000 | 1,63 | 1,26 |
| 4200 | 2,01 | 1,59 |
| 4400 | 1,79 | 1,23 |
| 4600 | 1,62 | 0,91 |
| 4740 | 2,05 | 1,5 |

Tabla 23. Cuadro promedio aritmético de los carriles de subida y bajada para cada tramo, cIRI final.

| Distance (m) | cIRI Subida | cIRI Bajada | Promedio |
|--------------|-------------|-------------|----------|
| 200 | 0.8 | 1.3 | 1.05 |
| 400 | 1.05 | 1.26 | 1.155 |
| 600 | 1.75 | 1.13 | 1.44 |
| 800 | 0.87 | 1.25 | 1.06 |
| 1000 | 0.92 | 1 | 0.96 |
| 1200 | 1.08 | 1.17 | 1.125 |
| 1400 | 1.13 | 1.04 | 1.085 |
| 1600 | 0.76 | 0.83 | 0.795 |
| 1800 | 1.02 | 1 | 1.01 |
| 2000 | 1.27 | 0.66 | 0.965 |
| 2200 | 1.28 | 0.62 | 0.95 |
| 2400 | 1.11 | 0.85 | 0.98 |
| 2600 | 0.88 | 1.14 | 1.01 |
| 2800 | 1.22 | 1.16 | 1.19 |
| 3000 | 1.3 | 1.24 | 1.27 |
| 3200 | 1.4 | 1.07 | 1.235 |
| 3400 | 1.42 | 1.03 | 1.225 |
| 3600 | 1.37 | 1 | 1.185 |
| 3800 | 1.21 | 1.45 | 1.33 |
| 4000 | 1.26 | 1.15 | 1.205 |
| 4200 | 1.59 | 0.94 | 1.265 |
| 4400 | 1.23 | 1.26 | 1.245 |
| 4600 | 0.91 | 1.27 | 1.09 |
| 4740 | 1.5 | 0.92 | 1.21 |

Se realizó un cIRI para cada sentido, uno de subida y uno de bajada, en la hoja de cálculo se realizó el cambio del sentido de los datos obtenidos de bajada, y posterior a esto se realizó el promedio aritmético de ambos, de subida y de bajada para cada tramo, obteniendo así el cIRI final por tramo.

4.1.1. Tiempo de recolección de datos con Smartphone

El tiempo de recolección de datos para la obtención del IRI medido con Smartphone fue medido durante la recolección total de datos, obteniendo así un total de 24 minutos, así como lo muestra la *Tabla 9. Dificultad de recolección de datos para Smartphone.*

4.1.2. Tiempo de procesamiento de datos con Smartphone

Después de obtener los datos en campo, se procede a realizar el trabajo en gabinete, para esta investigación el tiempo total de procesamiento de datos para la obtención del IRI medido con Smartphone fue de 20 minutos, así como lo muestra la *Tabla 12. Dificultad de procesamiento de datos con Smartphone*.

Para medir el índice de rugosidad internacional con RPAS fue necesario realizar un conjunto de actividades, necesarias para garantizar un buen resultado, estas actividades se detallan a continuación.

4.2. Índice de rugosidad internacional medido con RPAS

4.2.1. Recolección de datos RPAS

Para realizar la recolección de datos lo primero que hicimos fue el plan de vuelo, que está en función del área de terreno a levantar, la forma del terreno, las condiciones ambientales y la altura de los obstáculos. Para la investigación elegimos utilizar un vuelo manual, pues la forma del área a levantar era del alineamiento de una carretera.

Después de elegir el plan de vuelo, se realizó la demarcación de los puntos de control, utilizando coordenadas RTK, obtenidas por un equipo GPS de doble frecuencia, pues estos equipos permiten ubicar una antena de rastreo sobre un vértice geodésico de coordenadas conocidas y emplear otra antena en modo Rover. Utilizamos esta metodología en todos los puntos de control establecidos, cada 500 metros, haciendo un total de 10 puntos a lo largo de la vía en estudio.

Posterior a la demarcación de los puntos de control, utilizando el plan de vuelo escogido realizamos el vuelo.

4.2.2. Procesamiento de datos RPAS

Los datos obtenidos por el RPAS son procesados por el software Agisoft PhotoScan de licencia en periodo de prueba para esta investigación, alineando las fotografías, referenciando los puntos de control obtenidos con el GPS RTK y realizando la creación de la nube de puntos.

Después de obtener la nube de puntos utilizamos el software Global Mapper de licencia en periodo de prueba para esta investigación, para generar los alineamientos de los



ahuellamientos en ambos sentidos (de subida y de bajada) y posteriormente exportar los datos de los alineamientos.

Por último, utilizamos el software ProVAL con licencia gratuita para esta investigación, para calcular el IRI, este software utiliza la metodología del cuarto de carro para el cálculo del IRI, y así obtenemos el IRI para cada ahuellamiento en cada sentido.

Los valores del IRI calculado por cada ahuellamiento se promedian y se recopilan en una tabla, en la que diferenciamos ambos carriles, de subida y de bajada, con estos valores se obtiene un promedio aritmético para tener un valor final del IRI por cada tramo.

Tabla 24. Valor final del IRI por cada tramo.

| Distancia (m) | eIRI Subida | eIRI Bajada | cIRI Promedio (m/km) |
|---------------|-------------|-------------|----------------------|
| 0 - 200 | 2.57 | 3.13 | 2.85 |
| 200 - 400 | 2.05 | 2.02 | 2.04 |
| 400 - 600 | 2.53 | 1.65 | 2.09 |
| 600 - 800 | 1.64 | 1.68 | 1.66 |
| 800 - 1000 | 1.76 | 1.57 | 1.67 |
| 1000 - 1200 | 1.68 | 2.38 | 2.03 |
| 1200 - 1400 | 1.69 | 2.10 | 1.90 |
| 1400 - 1600 | 1.42 | 2.21 | 1.82 |
| 1600 - 1800 | 2.37 | 1.47 | 1.92 |
| 1800 - 2000 | 1.84 | 1.74 | 1.79 |
| 2000 - 2200 | 3.36 | 1.30 | 2.33 |
| 2200 - 2400 | 2.28 | 1.40 | 1.84 |
| 2400 - 2600 | 1.51 | 1.41 | 1.46 |
| 2600 - 2800 | 1.85 | 1.68 | 1.77 |
| 2800 - 3000 | 1.98 | 1.92 | 1.95 |
| 3000 - 3200 | 2.11 | 1.95 | 2.03 |
| 3200 - 3400 | 1.82 | 1.53 | 1.68 |
| 3400 - 3600 | 1.70 | 1.41 | 1.56 |
| 3600 - 3800 | 1.82 | 1.38 | 1.60 |
| 3800 - 4000 | 1.63 | 1.76 | 1.70 |
| 4000 - 4200 | 2.01 | 1.68 | 1.85 |
| 4200 - 4400 | 1.79 | 1.47 | 1.63 |
| 4400 - 4600 | 1.62 | 1.62 | 1.62 |
| 4600 - 4740 | 2.05 | 1.70 | 1.88 |

4.2.3. Tiempo de recolección de datos con RPAS

La recolección de datos para la obtención del IRI medido con RPAS tuvo una duración total de 386 minutos, así como lo muestra la Tabla 10. *Dificultad de recolección de datos para RPAS.*

4.2.4. Tiempo de procesamiento de datos con RPAS

El tiempo total para realizar el procesamiento de datos con el RPAS fue de 405 minutos, así como lo muestra la Tabla 13. *Dificultad de procesamiento de datos con RPAS.*

4.3. Contraste del IRI medido con Smartphone y RPAS

Como resultado de la investigación se obtuvo la siguiente tabla, en la que se muestra una comparación del IRI obtenido mediante Smartphone y mediante RPAS, así mismo se muestra el tiempo de recolección en minutos, el tiempo de procesamiento de datos en minutos, el número de precios unitarios y el costo total en soles.

Tabla 25. Contraste del IRI medido con RPAS y Smartphone.

| | IRI Bajada (m/km) | IRI Subida (m/km) | Tiempo de recolección de datos (Min) | Tiempo de procesamiento de datos (Min) | Precios Unitarios (Und) | Costo (Soles) | Estado según rugosidad Bajada | Estado según rugosidad Subida |
|------------|-------------------|-------------------|--------------------------------------|--|-------------------------|---------------|-------------------------------|-------------------------------|
| RPAS | 1.757 | 1.962 | 386 | 405 | 2 | 395.57 | Bueno | Bueno |
| Smartphone | 1.073 | 1.180 | 24 | 20 | 1 | 25.62 | Bueno | Bueno |

De la tabla 25, podemos deducir que el IRI obtenido mediante el método del RPAS nos da un valor promedio en el carril de baja un valor de 1,757 mientras que con el método del Smartphone nos da un valor de 1.073, ambos valores nos indican que el estado de la carretera es BUENO. En el carril de subida se presenta un IRI un poco mayor al del carril de bajada, pero no por mucho. Teniendo un valor promedio obtenido mediante el método del RPAS de 1.962, mientras que mediante el método del Smartphone nos da un valor promedio de 1.180, ambos valores nos indican que el estado de la carretera es bueno.

El tiempo de recolección de datos, tiempo de procesamiento de datos y costo, fueron mayores con el RPAS que con el Smartphone, en gran diferencia.



Capítulo V: Discusión

5.1. Discusión referente a los resultados

¿Qué clasificación tiene el IRI obtenido mediante el método del Smartphone y del RPAS?

El IRI medido mediante el método del Smartphone obtiene datos que pertenecen a la clasificación número 2 según la guía técnica N°45 patrocinada por el Banco Mundial, mientras que los datos obtenidos mediante el método del RPAS obtiene datos de clasificación número 1 según la guía técnica N°45 patrocinada por el Banco Mundial, pues el método genera un perfil longitudinal en intervalos de 25 centímetros, los cuales fueron analizados por un software que simula el cuarto de carro.

¿Bajo qué criterios se escogieron los 10 puntos de control para referenciar mediante el método del RPAS?

Uno de los requisitos principales para realizar un trabajo topográfico mediante el uso de un RPAS (Dron) es tener puntos de control o BM los cuales puedan enlazarse en el programa mediante el cual se realiza la nube de puntos. Cuando se realizan levantamientos en áreas cerradas, es necesario realizar un punto de control en las esquinas del polígono, pero en el caso de polígonos abiertos como es el caso de este levantamiento se realizan puntos de control cada cierto tramo, para la investigación determinamos que serían cada 500 metros aproximadamente, con el objetivo de tener 10 puntos de control, y así referenciar el levantamiento de la carretera.

¿Qué criterios se toman en cuenta para realizar un levantamiento topográfico a detalle?

Gracias a la tecnología es posible realizar mediciones mediante procesos modernos como la fotogrametría, proceso mediante el cual se realizó el levantamiento topográfico de la carretera en estudio, para poder realizar gran detalle y obtener precisiones altas es necesario tener algunas consideraciones en la planificación del vuelo, una de las principales consideraciones es la altura de vuelo, para la investigación se utilizó una altura de vuelo de 18 metros, y se utilizaron 10 puntos de control referenciados, en el



procesamiento de datos se realizaron las mismas consideraciones, haciendo que el procesamiento considere un gran detalle en la obtención de la nube de puntos, y así obtener una densa nube de puntos.

¿Por qué se toma en cuenta el valor del cIRI obtenido mediante el método del Smartphone y no el eIRI?

Las especificaciones técnicas de la aplicación Roadroid, explican el tipo de procesamiento de datos que realiza el software con los datos obtenidos mediante el Smartphone. Para el caso del cIRI el procesamiento que realiza la aplicación es el conocido cuarto de carro, mediante el cual se realiza la simulación y se obtiene un IRI calculado de clase 2, según la guía técnica N°45 del Banco Mundial, mientras que el eIRI es un valor obtenido en base a una conversión lineal que nos da una medición de clase 3, según la guía técnica N°45 del Banco Mundial.

Para la investigación se considera el cIRI como el valor a utilizar pues es de clasificación mayor y de mayor precisión a la del eIRI.

¿Por qué se realizan dos tipos de análisis de costos (práctico y teórico)?

En la investigación se realizaron dos análisis de costos, uno práctico que consideró el gasto generado por la investigación considerando todas las actividades necesarias para la recolección de datos en ambas mediciones y uno teórico en el que se realizó un análisis de precios unitarios para las actividades necesarias a realizar para cumplir con la recolección de datos en ambas mediciones, este se realizó para mostrar cual sería el precio si se consideraran como partidas en el desarrollo de un trabajo ingenieril.

¿Cómo se determinaron los tiempos de procesamiento y recolección de datos?

Para determinar los tiempos de procesamiento y recolección de datos fue necesario utilizar una aplicación de Smartphone de nombre Boosted, desde la cual se realizaron las mediciones del tiempo en cada proceso de procesamiento y de recolección de datos.

Para la determinación del tiempo de recolección de datos se contaba también con el resumen de plan de vuelo que nos brinda la aplicación utilizada para el plan de vuelo, y para determinar el tiempo de procesamiento de datos, los softwares utilizados también generan reportes desde los cuales se puede ver el tiempo empleado en el procesamiento.



5.2. Discusión referente a los aportes de la investigación y temas nuevos.

¿Por qué son necesarios protocolos de vuelo para RPAS?

En la ingeniería, el uso de instrumentos está regidos a manuales o guías de uso, para el caso del RPAS en el Perú aún no tenemos manuales o guías de uso, para ello en la investigación como aporte se realizó la guía de planificación de vuelo, en la que se aprecia los pasos necesarios para las etapas determinadas en base a experiencias propias, y haciendo caso a las indicaciones del fabricante. Esta guía permite realizar un vuelo seguro, garantizando calidad en los datos obtenidos y el correcto uso del RPAS.

¿Qué factores intervienen para tener una buena precisión en un levantamiento con RPAS?

La precisión de un levantamiento con RPAS está en función a factores que se tienen que tener en cuenta en la recolección de datos y en el procesamiento de estos; primero en la recolección es necesario tener una altura de vuelo correcta, que permita tener un GSD óptimo para el tipo de levantamiento que se requiere, también el horario en el que se realiza la toma de datos influye mucho, pues de acuerdo al sensor del RPAS y la cantidad de luz durante el día se puede optimizar esto, otro factor importante es la cantidad de puntos de control para referenciar en el procesamiento. En el procesamiento de datos es necesario que el equipo donde se realiza este proceso sea capaz de procesar una gran cantidad de datos, y así obtener una mayor cantidad de nube de puntos.

¿Cómo influye la limpieza de una carretera en la medición del IRI mediante el método del Smartphone?

Durante la investigación se pudo apreciar que existen tramos de la carretera en estudio, en los que se acumuló una gran cantidad de tierra, producto del uso constante y de la contaminación producida por los pobladores de la zona, esto ocasiona que la traza marcada por el vehículo en algunos tramos varíe, pues por confort y seguridad estas partes del pavimento se evitan, ocasionando así un nuevo ahuellamiento en la vía.



5.3. Discusión referente a los materiales y elementos de la investigación.

¿Por qué se escogió el DJI SPARK como RPAS para esta investigación?

En esta investigación se utilizó el Dron DJI SPARK como RPAS pues cumple con las condiciones y características necesarias para realizar un levantamiento topográfico a nivel de ingeniería, además de tener un costo accesible para poder ser comparado con el costo de la medición del IRI mediante un Smartphone.

¿Por qué se utilizó el modo manual como plan de vuelo en la recolección de datos con RPAS?

Debido a la singularidad del trazo de la carretera, a la pendiente de la vía y al nivel de detalle, se escogió realizar un vuelo manual, en el cual el piloto maneja el RPAS de manera manual utilizando el control remoto y logrando así obtener los datos necesarios para el posterior procesamiento.

¿Hubo alguna dificultad en alcanzar la velocidad indicada para el correcto uso de la aplicación Roadroid en esta carretera?

La carretera escogida para la investigación presenta un diseño sinuoso con curvas de desarrollo en los primeros kilómetros, acompañados de una pendiente pronunciada, lo que ocasionó que el vehículo en los primeros metros tenga que ser exigido para alcanzar las velocidades solicitadas por el software, además que el conductor tenga la experiencia necesaria para poder conducir a las velocidades indicadas. Por ello, si hubo dificultad al momento de alcanzar la velocidad indicada.

5.4. Discusión referente a los antecedentes de investigación.

¿Existe mucha diferencia en la obtención de datos para el rugosímetro de Merlin con el RPAS?

En sí, la comparación de un método clásico como lo es el rugosímetro de Merlín, frente a un método moderno como lo es el RPAS tiene importantes diferencias en el



rendimiento, pues mientras que un RPAS puede realizar levantamientos topográficos del perfil de una vía, un rugosímetro de Merlín tiene un rendimiento muy bajo. Una de las más grandes diferencias es el rendimiento del instrumento, el costo del mismo y el tiempo que demora realizar la recolección de datos, teniendo como la mejor opción al RPAS.

¿El método de obtención mediante LIDAR (Laser) es muy diferente al de una nube de puntos obtenida con el RPAS?

El resultado de ambos métodos será el mismo, una nube densa de puntos, la tecnología LIDAR tiene muchas ventajas por sobre la metodología del RPAS. Es conocido que LIDAR utiliza sensores activos, es decir que no necesitan de algún factor ajeno para trabajar, mientras que el RPAS es un sistema pasivo pues depende de la luz para poder trabajar, es decir trabaja con cámaras RGB. Lidar te ofrece muchas ventajas, rendimiento, cantidad de datos, precisión, pero sacrifica mucho el costo, teniendo un costo muy elevado frente al RPAS. En síntesis, no es muy diferente en resultado, pero en costo y rendimiento si tiene una gran diferencia.

¿La altura de la carretera en investigación influye en la obtención del IRI?

En el método del RPAS sí, pues el factor altura siempre será una desventaja para el uso del RPAS, pues la presión atmosférica será la culpable de reducir el tiempo de vuelo del RPAS teniendo rendimientos menores. Mientras que para el Smartphone no tiene mucha importancia, más dependerá del vehículo y la topografía de la carretera.

¿Los puntos de control son importantes para este tipo de trabajos?

Claro que sí, estos nos permiten tener una precisión bastante pequeña en la corrección de la nube de puntos obtenida mediante el RPAS, no influye mucho la cantidad de puntos, sino la ubicación de los mismos, y realizar un buen trabajo de corrección en el software será importante para tener un buen resultado.



Glosario

Ahuellamiento: Surcos o huellas que se presentan en la superficie de rodadura de una carretera pavimentada o no pavimentada y que son el resultado de la consolidación o movimiento lateral de los materiales por efectos del tránsito.

Asfalto: Material cementante, de color marrón oscuro a negro, constituido principalmente por betunes de origen natural u obtenidos por refinación del petróleo. El asfalto se encuentra en proporciones variables en la mayoría del crudo de petróleo.

ASTM: Asociación Americana para el Ensayo de Materiales, (American Society for Testing Materials).

Dron: Un Dron es un vehículo capaz de volar y de ser comandado a distancia, sin que se requiera de la participación de un piloto.

Base: La base es parte de la estructura de un pavimento y consiste en una capa de material selecto y procesado que se coloca entre la parte superior de una subbase o de la subrasante y la capa de rodadura. Esta capa puede ser también de mezcla asfáltica o con tratamientos según diseño del pavimento.

Fotogrametría: Técnica para obtener mapas y planos de grandes extensiones de terreno por medio de la fotografía aérea.

Gimbal: Es una plataforma motorizada y controlada que forma parte de las cámaras, este se encarga de mantener un objeto estabilizado, de modo que independientemente del movimiento que realice el portador, ésta quede estable permitiendo tomar buenas capturas.

GNSS: Es la interfaz de usuario a cualquier Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) y su objetivo es procesar las Señales En el Espacio (SIS) transmitidas por los satélites.

GSD: Groud Sampling Distance es la equivalencia de la medida en el terreno a un pixel de la cámara del RPAS, en función de la distancia focal de la cámara y el tamaño del sensor.

Intemperismo: Efectos producidos por la intemperie (a cielo descubierto, sin techo).

IRI: Sigla que corresponde al Índice de Rugosidad Internacional.



IRRE: International Road Roughness Experiment, proyecto del Banco Mundial.

Mbps: Un megabit por segundo (Mb/s, Mbit/s o Mbps) es una unidad que se usa para cuantificar un caudal de datos equivalente a 1000 kb/s.

MTC: Ministerio de Transportes y Comunicaciones

MVCS: Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento

Ortofoto: (Ortofotografía) Es la presentación fotográfica de una zona de la superficie terrestre, en la que todos los elementos están en la misma escala, libre de errores y deformaciones, con la misma validez de un plano cartográfico.

Ortomosaico: Conjunto de Ortofotos u ortofotografías.

Pavimento flexible: Constituido con materiales bituminosos como aglomerantes, agregados y de ser el caso aditivo.

Peralte: Inclinación transversal de la carretera en los tramos de curva, destinada a contrarrestar la fuerza centrífuga del vehículo

Provías Nacional: Proyecto Especial del Ministerio de Transportes y Comunicaciones creado mediante Decreto Supremo N° 033-2002- MTC del 12.07.2002.

Perfilómetro: (Rugosímetro) Equipo electrónico que permite medir la rugosidad o perfil de una superficie mediante el contacto de un pin captador que transmite las irregularidades superficiales detectadas a un amplificador, a la vez que determina los diferentes parámetros de la rugosidad superficial, planitud y perfil.

RPA: Remotely Piloted Aircraft, traducido al español aeronave pilotada a distancia.

RPAS: Remotely Piloted Aircraft System, traducido al español sistema de aeronave pilotada a distancia.

RTK: Real Time Kinematic, traducido al español navegación cinemática satelital en tiempo real

Rugosidad (Pavimento): Parámetro del estado más característico de la condición funcional de la capa de superficie de rodadura de un pavimento. Se expresa mediante el Índice de Rugosidad Internacional (IRI).



Serviciabilidad del pavimento: Es una medida de confort y la conveniencia del público usuario referido al comportamiento funcional de un pavimento.

SIG: Sistema de Información Geográfica SIG o GIS, en su acrónimo inglés Geographic Information System, es una integración organizada de hardware, software y datos geográficos diseñada para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y de gestión.

Singularidad: Cualquier alteración del perfil longitudinal de la carretera o camino que no proviene de fallas constructivas y que incrementa el valor del IRI en el tramo en que se encuentra. Entre ellas se pueden citar: puentes, badenes, tapas de buzones. etc.

Smartphone: Teléfono celular con pantalla táctil, que permite al usuario conectarse a internet, gestionar cuentas de correo electrónico e instalar otras aplicaciones y recursos a modo de pequeño computador.

Subrasante: Se denomina al suelo que sirve como fundación para todo el paquete estructural de un pavimento.

Superficie de rodadura: Parte de la carretera destinada a la circulación de vehículos compuesta por uno o más carriles, no incluye la berma.

Vehículo: Cualquier componente del tránsito cuyas ruedas no están confinadas dentro de rieles.

Vía: Camino, arteria o calle.



Conclusiones

Conclusión N°01

No se pudo demostrar que “La variación del costo, tiempo, dificultad de recolección de datos y dificultad de procesamiento de datos en la obtención del índice de regularidad internacional es mínima entre el RPAS y Smartphone”, ya que la variación que existe en el costo es de 369.95 soles, la variación que existe en el tiempo es de 756 minutos, la variación en la dificultad de recolección de datos es de 362 minutos con 26 procesos y la dificultad de procesamiento de datos es de 394 minutos con 8 procesos.

Conclusión N°02

Se logró demostrar la sub hipótesis N°01 “Las mediciones obtenidas con Smartphone ofrecen menores costos que las mediciones obtenidas con RPAS”, ya que al realizar el análisis de costos unitarios se pudo demostrar que el costo total, considerando los 4.74 kilómetros de carretera, medido con RPAS es de 395.57 soles, mientras que considerando los 4.74 kilómetros de carretera, medidos con Smartphone es de 25.62 soles.

Conclusión N°03

No se logró demostrar la sub hipótesis N°02 “El tiempo para obtener los datos con el RPAS es mucho menor que con el Smartphone”, pues el tiempo empleado en la recolección de datos para el RPAS es de 800 minutos, mientras que el tiempo empleado para la recolección de datos para el Smartphone es de 44 minutos.

Conclusión N°04

Se logró demostrar la sub hipótesis N°03 “Las mediciones obtenidas con el Smartphone tienen una menor dificultad de recolección de datos que las mediciones obtenidas con el RPAS”, ya que al realizar el análisis de la dificultad tomando en cuenta factores como el tiempo y el número de procesos tenemos que para realizar la medición del IRI mediante el RPAS se tienen 386 minutos con 34 procesos, mientras que la medición del IRI mediante el Smartphone se hizo en 24 minutos con 8 procesos, siendo muy inferior a los valores obtenidos con el RPAS.



Conclusión N°05

Se logró demostrar la sub hipótesis N°04 “Las mediciones obtenidas con el RPAS tienen mayor dificultad de procesamiento de datos que las mediciones obtenidas con Smartphone”, ya que al realizar el análisis de la dificultad tomando en cuenta factores como el tiempo y el número de procesos tenemos que para realizar la medición del IRI mediante el RPAS se tienen 405 minutos con 14 procesos, mientras que la medición del IRI mediante el Smartphone se hizo en 20 minutos con 6 procesos, siendo muy inferior a los valores obtenidos con el RPAS.



Recomendaciones

Recomendación N°01

Por motivos de las limitaciones de la investigación la carretera escogida para la investigación no cuenta con singularidades, se recomienda hacer una medición del IRI en una carretera con singularidades, para poder realizar una medición de tiempo, costo, dificultad de recolección de datos y dificultad de procesamiento de datos, considerando las singularidades, como son: puentes, badenes, tapas de buzones, que alteran el perfil longitudinal de la carretera y que incremente el valor del IRI en el tramo en que se encuentran.

Recomendación N°02

Se recomienda realizar la evaluación del IRI medido con el RPAS utilizando diferentes modelos de RPAS, para así poder considerar diferentes rendimientos y diferentes costos.

Recomendación N°03

Se recomienda realizar una medición del IRI medido con RPAS utilizando un GSD menor a 1.0 cm/px; ya que, con estos valores, la cantidad de información procesada es mayor, lo cual es muy útil para este tipo de investigaciones, en la que se requiere mayor cantidad de datos.

Recomendación N°04

Se recomienda utilizar vehículos potentes y en buen estado mecánico, que a su vez puedan desarrollar eficientemente velocidades comprendidas entre 60 Km/h y 80 Km/h, las cuales son requeridas para la medición del IRI con la aplicación Roadroid, a través de un Smartphone. Así mismo, se recomienda que el conductor tenga experiencia de mantener estas velocidades en carreteras sinuosas.

Recomendación N°05

Se recomienda realizar una investigación utilizando RPAS de ala fija, pues este tiene un rendimiento superior al RPAS de hélices (multirotores), ya que el RPAS de ala fija puede realizar levantamientos de áreas extensas en intervalos cortos de tiempo.



Recomendación N°06

Se recomienda realizar una investigación haciendo la comparación de un perfilómetro láser con un Smartphone y con un RPAS.

Recomendación N°07

Se recomienda para la medición de IRI mediante el Smartphone, que la carretera en estudio esté libre de tránsito, pues la velocidad indicada para la recolección de datos se puede ver afectada por la presencia de vehículos transitando a velocidades inferiores.

Recomendación N°08

Se recomienda utilizar el RPAS como instrumento de recolección de datos para la obtención de perfiles longitudinales en carreteras, debido a que nos permite tener una buena precisión debido a la alta calidad de las fotografías y datos, además de un buen rendimiento.

Recomendación N°09

Se recomienda utilizar el Smartphone como instrumento de recolección de datos para la obtención del IRI en carreteras de nuestro país, debido a su buena precisión y a su bajo costo, para tener un registro del estado funcional del pavimento en nuestras carreteras.



Referencias

Almenara Cueto, C. I. (2015). *Aplicación de teléfonos inteligentes para determinar la rugosidad de pavimentos urbanos en Lima*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Ayala, A., & Hasbun, M. (2012). *Aplicaciones y uso de la tecnología del GPS Diferencial de doble frecuencia con precisión centimétrica en el área de levantamiento y replanteo topográfico georreferenciado*. Universidad de El Salvador.

Badilla Vargas, G. (2010). *Aspectos y consideraciones importantes en el cálculo del índice de regularidad internacional (IRI)*. *Revista de la Universidad de Costa Rica*.

Behar Rivero, D. S. (2008). *Metodología de la Investigación*. Shalom.

Bubble Marble Geographics. (17 de 07 de 2019). *Bubble Marble Geographics*. Obtenido de <https://www.bluemarblegeo.com>

Chang, G. (2019). *Project Manager The Transtec Group*.

Del Águila Rodríguez, P. (1999). *Experiencias y resultados obtenidos en la evaluación de la rugosidad e mas de 3000 km de pavimentos en el Perú y otros países*. Lima.

DJI. (26 de 07 de 2019). *DJI All Rights Reserved*. Obtenido de <https://www.dji.com/spark/info>

Fonseca, A. M. (2002). *Ingeniería de Pavimentos para Carreteras*. Bogotá: Agora.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2006). *Metodología de la Investigación* (Cuarta ed.). Iztapalapa, México: Mc Graw Hill. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/38757804/Metodologia-de-La-Investigacion-Hernandez-Fernandez-Batista-4ta-Edicion>

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. d. (2014). *Metodología de la Investigación 6ta Edición*. Ciudad de México, México: Mc Graw Hill.

Lavaud, P. (2017). Importancia de la regularidad superficial (IRI) en la construcción de pavimentos asfálticos en caliente. *ROADTEC.INC*.

Mauricio Pradena, M. (2005). Análisis de Regularidad Superficial en Caminos Pavimentados. *Revista de la Construcción*.



- Méndez Alvarez, C. (2007). *Metodología, 4a edición: Diseño y desarrollo del proceso de investigación con énfasis en ciencias empresariales*. Limusa.
- Ministerio de Vivienda Construcción y saneamiento. (2010). *Norma CE. 010 Pavimentos urbanos*. Lima: SENCICO.
- Monsalve, L., Giraldo, L., & Maya, J. (2012). *Diseño de pavimento flexible y rígido*. Armenia: Universidad del Quindío.
- MTC. (2007). *Especificaciones técnicas generales de la conservación de carreteras*. Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- MTC. (2013). *Manual de Carreteras Conservación Vial*. Lima: Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- MTC. (2014). *Manual de carreteras, suelos, geología, geotecnia y pavimentos*. Lima: Ministerio de Transporte y Comunicaciones.
- Roadroid. (2014). *Referencias de Roadroid*. Roadroid.
- Ruiz Gutiérrez, T. (2004). *Índice de Regularidad Internacional*. San José: Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales - Universidad de Costa Rica.
- Sayers, M. W., Gillespie, T. D., & Queiroz, C. A. (1986). *Establishing correlation and a calibration standard for measurement, Paper Number 45*. World Bank.
- Sayers, M., Gillespie, T., & Paterson, W. (1986). *Guidelines for conducting and calibrating road roughness measurements, paper number 46*. World Bank.
- Software científico y técnico*. (23 de 07 de 2019). Obtenido de <https://www.scientec.com.mx/agisoft-photoscan/>
- Tamayo y Tamayo, M. (2003). *El Proceso de la Investigación*. Ciudad de México, México: Limusa.
- Tapia García, M. A. (2015). *Pavimentos*. México D.F.: UNAM.
- Ventura J., A. E. (2005). *Determinación del Índice de Regularidad Internacional IRI*. El Salvador: Ministerio de Transporte, Obras Públicas, Vivienda y Desarrollo Urbano.