

UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA
FACULTAD DE INGENIERIA

Trabajo para optar al Título de
INGENIERO AGRIMENSOR

UTILIZACION de DRONES
para
RELEVAMIENTOS LINEALES

Autor : ENZO ROSA

Tutor : RICARDO YELICICH

Noviembre 2020

TABLA DE CONTENIDO

Resumen	5
1. Introducción	7
2. Objetivos	11
3. Consideraciones Generales	
3-1. Estado General de las Rutas en Uruguay	13
3-2. Identificación del Parámetro de Estudio	15
3-3. Métodos de Recolección de Datos	17
3-4. Uso de UAV	19
4. Fundamentos teóricos	
4-1. Nivelación geométrica. Alturas elipsoidal y ortométrica	21
4-2. Estación Total y GNSS	27
4-3. UAV	30
4-4. Interpolación	32
4-5. Fotogrametría	36
5. Desarrollo del trabajo	
5-1. Herramientas Disponibles	41
5-2. Datos de Campo	43
5-3. Procesamiento de Datos	48
6. Conclusiones	55
7. Bibliografía	59
Agradecimientos	61
Anexos	63

Resumen

El trabajo es un análisis sobre la **utilización de drones para la realización de relevamientos topográficos**, en particular para obras lineales como son las de caminería.

Este tipo de obras donde, por ejemplo, se va a reciclar una ruta, la necesidad radica básicamente en lograr reponer en campo un proyecto que generalmente es una superficie muy próxima a la existente, por tanto, debe atenderse fundamentalmente a las precisiones entre relevamiento y replanteo particularmente en la zona de la calzada existente.

Basándose en procedimientos tradicionales de relevamiento topográfico como la taquimetría y en los fotogramétricos con base un dron o UAV, se recogen datos del terreno con ambos para su análisis comparativo, fundamentalmente desde el punto de vista altimétrico.

Palabras clave:

Obra Lineal, Sistema de Referencia, Nivelación, Estación Total, GNSS, UAV.

1. INTRODUCCION

La particularidad de culminar una carrera de grado luego de varias décadas de trabajar en una de las áreas que le competen, propone una situación particular para el autor.

En principio se supone que las experiencias acumuladas facilitan la tarea, en el entendido que solamente se tratará de relatar alguna de ellas.

Sin embargo, la acumulación es propicia al desorden en el sentido que se mezclan situaciones fundiendo conceptos que en lo pragmático pueden ser válidos como ensayos, pero que, en un trabajo académico, orientado al estudio de un tema como objetivo, no corresponden.

Asimismo, vienen a la mente comentarios de índole socio-político-económico, producto de resultados buenos, neutros y malos vividos, en un sano intento de aportar mejoramientos al desempeño en el rubro.

Esto último, tampoco corresponde porque no es el cometido directo de la profesión de Ingeniero Agrimensor.

Motivo del presente trabajo es entonces, culminar una carrera de grado aportando a un tema en particular de los tantos que abarca la antiquísima profesión del Agrimensor.

Interesante es conocer que los antecedentes remontan a 5000 AC en el Antiguo Egipto en tareas relacionadas con la primitiva agricultura; registro de tierras alrededor de 3000AC; ya en la Roma Antigua establecidos como una profesión creando divisiones básicas del Imperio, año 300 DC. Y en 1086 en Inglaterra, el Domesday Book, un registro de propietarios de las tierras, superficie, calidad de las mismas e información, etc. Sumado a esto, el Catastro de la Europa Continental (1808) creado por designios de Napoleón.

Esta breve relación muestra la amplitud de la historia y del ámbito de trabajo y estudio de la Agrimensura que puede comprender: agricultura, construcción, catastro, cartografía, etc.

En particular, el presente estudio, considera aspectos muy específicos de una de esas ramas: el estudio, proyecto y construcción y/o remodelación de rutas o caminos.

Proyectar una nueva ruta o modificar una existente, tiene como base principal un relevamiento del terreno desde un enfoque topográfico.

Los métodos clásicos para la ejecución de tales relevamientos consisten en la materialización de un sistema de referencia local, generalmente mediante mojones distribuidos a lo largo de la faja existente o no aún, a los que en primera instancia referenciamos entre sí generando una poligonal con vértices cada uno de esos.

No se menciona en este trabajo la historia de la agrimensura pertinente a tales tareas dado que los métodos son de uso común y han sido tratados en infinidad de artículos, textos y otros estudios. Se hace referencia a Nivelación Geométrica y Trigonométrica, Radiación Taquimétrica, etc.

Una vez determinada la planimetría de la red de mojones, se considera conveniente por razones de precisión, la nivelación altimétrica de los mismos mediante nivelación geométrica si bien esto condiciona el replanteo futuro a realizarse por el mismo método.

Se obtiene así, una red de apoyo tridimensional que se considerará como base para el relevamiento a realizar.

Comienza aquí una tarea de toma de datos de los puntos del terreno. Los métodos son variados, uno de ellos, con estación total antes llamada radiación taquimétrica cuando se realizaba con teodolito y cinta o distanciómetro con posterior proceso.

Dichos datos en obras lineales de caminería, se toman por tradición en perfiles transversales al eje de la traza cada 25 metros uno de otro.

Si se trata de una obra nueva, lo que se releva es un terreno virgen sobre una traza previamente estudiada desde varios puntos de vista: logística de tránsito y transporte, catastral y topográfico a gran escala. Los perfiles transversales se toman con referencia a un eje de proyecto propuesto.

En cambio, que es principalmente el caso de estudio del presente trabajo, si se trata de una ruta existente, sobre cada perfil transversal se toman los puntos representativos de la calzada: eje existente, bordes de pavimento y bordes superiores de talud, pies de talud y/o fondos de cuneta, drenajes, terreno de la faja.

Si a su vez, la intervención a realizar es de una mejora en la estructura del pavimento sin importantes modificaciones del diseño geométrico, nos encontramos con la necesidad de contar con los datos de la plataforma con una determinada precisión como veremos más adelante.

Todas estas tareas son tediosas y demandan mucho tiempo. Considerando que una obra promedio de caminería consta de etapas del orden de los 10 km y teniendo en cuenta las condiciones promedio de nuestro país, se releva 1 km por día. Sumado a esto las tareas previas, se puede hablar de al menos 15 días de trabajo de campo para esa longitud.

Sin pretender adelantar demasiado, un relevamiento similar mediante DRON o UAV se realizaría en unas 2 a 3 horas más las tareas previas de planificación del vuelo y señalización de puntos referentes, podemos hablar de 1 a 2 días de trabajo.

Quince días versus dos días como máximo. En principio parecería que las ventajas económicas son indiscutibles. Pero amerita un análisis de los resultados obtenidos y una comparación entre métodos para una confirmación de lo aparente en principio.

Corresponde además aclarar que todo este estudio considera trabajos topográficos locales. Si bien puede haber mediciones georreferenciadas, se trabaja con proyecciones locales o la UTM 21-S como veremos.

A pesar de la existencia del sistema SIRGAS ROU 98, que podría cubrir ese aspecto, el MTOP-DNV (Ministerio de Transporte y Obras Públicas – Dirección Nacional de Vialidad), no exige el uso de esta metodología en obras viales. Apenas procedimientos topográficos bastante antiguos, lo que justifica en parte el argumento del uso de procedimientos topográficos clásicos. Agregado a esto, la falta de preparación en los equipos de inspección desde hace un tiempo, lo que no obliga a las constructoras a actualizarse.

Mencionados los conceptos básicos para el desarrollo de la tarea, es menester una breve descripción de los fundamentos teórico-prácticos de los mismos. Todo eso, dado que el presente trabajo no ostenta de enciclopédico, en la justa medida de lo imprescindible para comprender los procedimientos que se pretende analizar.

Los siguientes párrafos presentan información al respecto ordenados primero en cuanto a los medios utilizados: Nivelación, Taquimetría, GNSS y el de prueba, UAV.

Luego, una mención a los fundamentos teóricos que permiten los desarrollos, particularmente al tipo de trabajo en cuestión: Interpolación y Fotogrametría. Las Herramientas Disponibles para la práctica. Los Datos de Campo recabados para el análisis y su Procesamiento. Y, por último, obviamente las Conclusiones y Bibliografía de referencia.

2. OBJETIVOS

Este trabajo, cuyo objetivo es la culminación de la carrera de grado de Ingeniero Agrimensor Plan 92, contempla un análisis sobre la **utilización de drones para la realización de relevamientos topográficos**, en particular para obras lineales como son las de caminería.

Teniendo en cuenta los métodos de relevamiento mencionados en la Introducción, se trata de evaluar la conveniencia en el sentido propiamente **topográfico** del uso combinado o no de los mismos.

Sin embargo, los aspectos económicos que son fundamentales en la realización de proyectos y la obvia relación con la ejecución o construcción de los mismos, se estima que surgirán, no desde un profundo análisis de costos que no es motivo de este trabajo, sino por la evaluación del tiempo de operación en ambos métodos. Dicha variable, está presente en todos los rubros intervinientes, desde horas-hombre, insumos en general, etc., lo que implica una buena primera aproximación como respuesta a la pregunta que inevitablemente hacen los encargados de gerenciar los emprendimientos, sobre cuánto va a costar.

3. CONSIDERACIONES GENERALES

3-1 Estado de las Rutas en Uruguay.

Como motivo principal para este estudio, cabe destacar el hecho que las rutas en nuestro país presentan en muchos casos un diseño antiguo y un estado no ideal.

Geometrías de trazados que no cumplen con las normativas modernas de diseño de vías de transporte y estado de los pavimentos que presentan deterioros importantes.

El primero de los conceptos no requiere urgente atención a simple vista, si bien un análisis serio sí lo demostraría. Teniendo en cuenta que los criterios geométricos de diseño tienen como uno de sus parámetros principales la velocidad de los vehículos y ésta ha aumentado considerablemente en los últimos años, el mejoramiento tecnológico aplicado a la seguridad contrapesa con lo anterior logrando el efecto de no "urgencia" mencionado.

Pero, el estado de los pavimentos no puede disimularse. Es así que la mayoría de los trabajos que se realizan al respecto, están orientados a ese tema sin corregir la geometría y las tareas se concentran en el área de la calzada y banquetas. En el mejor de los casos, se plantea el ensanche de la plataforma, pero esto solamente afecta las cercanías del eje de la vía.

Consecuentemente los relevamientos topográficos se atienen a esas condiciones. No es necesario relevar toda la faja de la vía, salvo lugares de excepción.

Esos trabajos de reciclado o reparación de las calzadas y mejora de las banquetas con el pertinente ensanche de plataforma, requieren una precisión del orden del centímetro. Esto se debe a que, al no modificar la altimetría, la rasante resultante es prácticamente la existente en el eje, pero sí se regulariza el perfil transversal de la calzada y banquetas.

Sobre lo mencionado en cuanto al orden de precisión centimétrico, surge del Pliego General para Obras y de los Pliegos Particulares, confeccionados por el MTOP (Ministerio de Transporte y Obras Públicas) y su dependencia la DNV (Dirección Nacional de Vialidad).

Así resulta importante recabar datos precisos de la superficie de calzada y banquetas existentes por varios motivos: reponer las cotas de pavimento existente con la adición del espesor de material agregado según el diseño estructural planteado y tener cabal idea del volumen de material de aporte necesario para lograr el perfil transversal deseado teniendo en cuenta que partimos de un perfil transversal existente no regular.

Pero existen casos, particularmente en las principales rutas nacionales, donde la necesidad de intervención viene no solo por el estado de las mismas sino por su capacidad de tránsito.

Se trata de situaciones en las que no alcanza con un ensanche de la plataforma en simple vía, sino de la necesidad de separar el tránsito en dos carriles por sentido.

Las posibilidades para doble vía con dos carriles por sentido son de construir, partiendo de una vía con un carril por sentido, las dos nuevas vías adyacentes a las existentes. O sea, mantener el mismo eje. De otro modo, si hay lugar en la faja y la ecuación económica lo permite, construir la nueva vía separada.

En el primer caso estamos en una situación similar a la descrita antes, ya que lo existente afecta directamente para el diseño geométrico.

En el otro, es como construir prácticamente una ruta nueva en terreno natural.

Justamente, aún quedan en el país varias rutas cuya importancia va en aumento con el desarrollo productivo, con tramos sin construir. Aplicaría también lo último expresado.

3-2 Identificación del parámetro de estudio.

El desarrollo del tipo de trabajos donde se va a reciclar la ruta, se puede definir sencillamente con que la necesidad radica básicamente en lograr reponer en campo un proyecto que generalmente es una superficie muy próxima a la existente.

O sea, no se trata de grandes cambios que hagan perder dependencia con lo existente, al contrario, la cercanía requiere una relación precisa entre ambas situaciones.

Es así que se debe atender fundamentalmente a las precisiones entre relevamiento y replanteo particularmente en la zona de la calzada existente.

A diferencia de otros casos donde se busca, por ejemplo, calcular un volumen o considerar un terreno donde se va a implantar una construcción civil, en los que la "distancia" entre superficie de lo existente y lo futuro, o lo previo y lo actual (cantera), en general difiere en grande. En esos casos esa "distancia" es del orden de centímetros.

En general, una capa de material agregado para mejorar la estructura de un pavimento está entre los **15 a 30** cm y los requisitos están en no más de 1 cm de error.

Ese valor, surge en principio de lo exigido en los Pliegos de Construcción mencionados y su fuente es que el desvío en los volúmenes de material a pagar se acerque en ese orden a lo verdadero. O sea, en un **3%** como máximo de desviación.

Consideramos un tramo típico de actuación en una ruta: 10km, un ancho de plataforma promedio: 12m y que la capa de recargo es de 30cm.

Utilizando el volumen de recargo definido por las dimensiones anteriores, se observa que el error que más influye es la altura o espesor del mismo. De allí la importancia de cuidar la precisión de esta magnitud.

En resumen, coinciden los conceptos de mantener el comportamiento altimétrico de la ruta (Rasante), con el de cuidar que el volumen cargado sea lo más próximo al pagado.

A efectos de justificar esta simplificación, consideremos la capa de recargo o regularización de la rasante como un prisma de dimensiones **L, a y e**.

L = largo del tramo de ruta, del orden de los 10km (10^4)

a = ancho promedio de la plataforma, del orden de los 12m (10^1)

e = espesor promedio de la capa, del orden de los 30cm (10^{-1})

Analicemos el Volumen resultante,

$$V = L \times a \times e$$

y sus respectivos errores,

$$\mathcal{E}_L \quad \mathcal{E}_a \quad \mathcal{E}_e$$

tendremos que el error del volumen será,

$$\mathcal{E}_V = a.e. \mathcal{E}_L + L.e. \mathcal{E}_a + L.a. \mathcal{E}_e$$

como vimos: $e \ll a \ll L$ y aplicando órdenes de magnitud,

$$\mathcal{E}_V \sim 10^1 \cdot 10^{-1} \cdot \mathcal{E}_L + 10^4 \cdot 10^{-1} \cdot \mathcal{E}_a + 10^4 \cdot 10^1 \cdot \mathcal{E}_e$$

$$\mathcal{E}_V \sim 1 \cdot \mathcal{E}_L + 10^3 \cdot \mathcal{E}_a + 10^5 \cdot \mathcal{E}_e \sim 10^5 \cdot \mathcal{E}_e$$

Observamos que la influencia predominante es la del error de espesor, que está directamente relacionado con el error de Cota Altimétrica.

Pasa a ser objetivo de este estudio, la evaluación de los resultados obtenidos fotogramétricamente en cuanto a la magnitud altimétrica (**Z**).

3-3 Método de Recolección de los Datos.

Tradicionalmente, los métodos de recolección de datos topográficos del terreno son directos. O sea, mediante algún instrumento topográfico se realiza el levantamiento.

La metodología hoy día, puede ser utilizando GNSS, Estación Total y Nivel.

Describimos en la Introducción, un procedimiento en particular, donde se materializa una Red de Apoyo mediante hitos o mojones a la que se puede georreferenciar, particularmente en forma planimétrica mediante GNSS, y luego, mediante Nivelación Geométrica, se adjudican cotas altimétricas a los mismos.

Posteriormente, dijimos que el levantamiento de datos topográficos se hace mediante taquimetría con Estación Total.

La alternativa en estudio: **relevamiento fotogramétrico mediante un dron y los accesorios necesarios.**

Estamos considerando pasar de una toma directa de datos del terreno a una forma indirecta, mediante fotogrametría.

Antes de continuar con el desarrollo del estudio, amerita comentar que, si bien hablamos de obras de regularización centradas en el pavimento existente, en el caso que se proyecte una corrección geométrica de la traza o una construcción nueva independiente, vale el contenido.

Resulta que una corrección geométrica en general comprende zonas de curvas y algunos acordamientos verticales no actualizados, eso significa que gran parte del trabajo mantiene los requisitos del otro caso.

Si consideramos la zona sin obra existente se trata de relevar el terreno, en general virgen o cultivado, pero superficie natural, a fin de cuentas.

En cambio, la zona a corregir o regularizar que en general es una calzada existente, presenta una superficie que es artificial y, por ende, homogénea frente a lo anterior.

Para este estudio se considera que dicho factor es clave para la evaluación de la metodología aplicada a estas tareas. Analizando cada situación por separado teniendo en cuenta que el relevamiento de un terreno natural presenta una heterogeneidad que se caracteriza

generalmente por la escasez de elementos interpolables entre sí. En cambio, una calzada construida presenta todo lo contrario, que la geometría definida por el proyectista de la obra inicial lo explica.

Es nuestro propósito entonces, determinar cuan útil resultaría el uso de la fotogrametría mediante cámaras montadas en drones en este tipo de relevamientos topográficos.

3-4 Uso de UAV

Un vuelo fotografiado con cámara digital define su precisión mediante el tamaño del pixel en el terreno dependiendo de la altura de vuelo. Por ejemplo, de 5cm x 5cm de tamaño de pixel a nivel del terreno.

De acuerdo a la *Documentación Técnica del programa de software Pix4D*, la GSD (Ground Sampling Distance o Distancia de Muestro en el Suelo) es la distancia entre los centros de dos píxeles consecutivos proyectada en el suelo (la distancia entre ellos en la cámara es constante) y esta influye en la precisión y la calidad de los resultados. La altura de vuelo necesaria para obtener un GSD determinado, se calcula dependiendo de la distancia focal de la cámara, el ancho del sensor de la misma y el ancho de la imagen. En la práctica, el software lo realiza a partir del tamaño de pixel en suelo deseado o conveniente.

En un procedimiento de relevamiento tradicional, mediante estación total, por ejemplo, el mismo se realiza mediante perfiles transversales cada 25 metros unos de otros.

Se presenta así, la primera ventaja aparente del vuelo. La menor discrecionalidad de este frente a interpolaciones cada 25m. Pero se debe considerar principalmente el error altimétrico de uno y otro método.

Un relevamiento tradicional considera puntos del terreno que se encuentran muy separados entre sí y con la consideración que sean interpolables entre sí a simple vista. Pero esto ya implica una primera fuente de discrepancia entre el modelo y la realidad ya que esa decisión se toma subjetivamente en campo.

Al realizar la misma tarea mediante fotogrametría con dron, eso no existe. Veremos que la planificación de los vuelos incluye la secuencia de fotografías a tomar. En otras palabras, obtenemos una cuadrícula de puntos o píxeles cuya regularidad implica la toma de puntos independientemente de su relación espacial.

La mayor cantidad de datos a pesar de un supuesto mayor error en principio, representaría con mayor fidelidad la realidad.

Se puede suponer sin adelantar conclusiones que, si los datos surgen de imágenes formadas por píxeles del tamaño seleccionado, y como se mencionó estos son del orden de centímetros de lado, el detalle será mucho mayor frente al relevamiento topográfico directo.

El sentido de lo anterior se encuentra en el hecho que, entre los elementos para el diseño geométrico de rutas, están los desagües. La resolución de los mismos en cuanto a la intersección que significa la ruta a construir mediante alcantarillas o puentes, requiere del análisis de cuencas de escurrimiento y, por tanto, la identificación de las mismas. Tradicionalmente se realiza por un relevamiento visual de la zona y luego un relevamiento topográfico de lo detectado antes.

Datos topográficos de gran detalle facilitan enormemente esa tarea de identificación y mejora los resultados.

Así como lo mencionado, varios otros conceptos incluidos en el proceso de diseño se ven beneficiados con el nivel de detalle.

A los efectos de una evaluación para su uso, es menester el análisis de la calidad topográfica de esos productos.

4. FUNDAMENTO TEORICOS

4-1 NIVELACION GEOMETRICA. ALTURAS ELIPSOIDAL y ORTOMETRICA

La materialización de la Red de Apoyo del trabajo, mediante mojones de hierro con base de hormigón y la posterior referenciación de la misma se realiza mediante tecnología GNSS.

Luego, este trabajo considera el procedimiento de relevamiento topográfico mediante utilización de Estación Total y Nivelación Geométrica.

En la Nivelación Geométrica, el dato que se mide es la Altura Ortométrica del punto considerado.

GNSS mide Altura Elipsoidal, además de la Latitud y Longitud del punto, que luego servirán como datos para una posible aplicación de un Modelo Geoidal.

La Altura Ortométrica (**H**) es la distancia, según la vertical del lugar o línea de la plomada, entre un punto sobre la superficie de la Tierra y una superficie equipotencial según la fuerza de la gravedad terrestre. En particular la que se aproxima a la superficie de los mares en calma, prolongada debajo de los continentes, conocida como Geoide.

Para entender la Altura Elipsoidal, se debe considerar primero una superficie de referencia que se aproxime lo mejor posible al globo terrestre. También se puede tomar, y de hecho se hace así, un sector de esa superficie que se adapte a la zona de la superficie terrestre que se esté analizando.

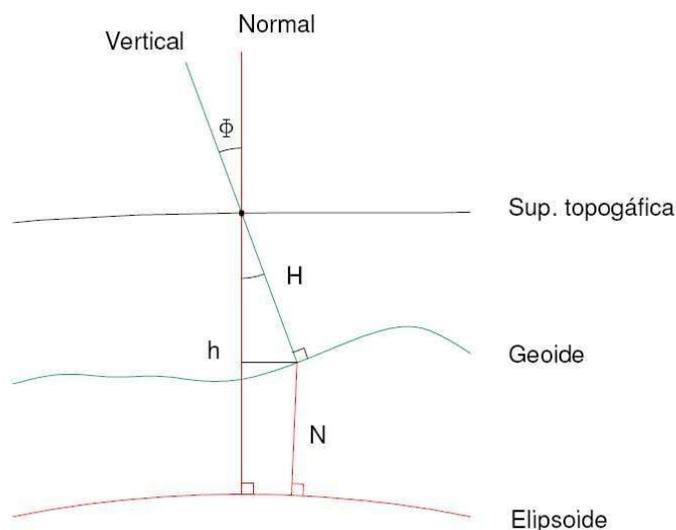
Dicha superficie de referencia es comúnmente un elipsoide de revolución, con su eje de rotación coincidente con la línea de los polos y la elipse generatriz un meridiano. Esto es así porque el geoide tiene una formulación matemática compleja y, por tanto, no muy práctica para usar. En otras palabras, la referenciación de un punto sobre la superficie terrestre se logra mediante coordenadas geográficas, Latitud y Longitud. La base de este sistema de coordenadas son los ejes del elipsoide mencionado. El cual, a su vez, tiene una formulación matemática relativamente sencilla,

$$(x^2 + y^2)/a^2 + z^2/b^2 = 1$$

Con base en lo comentado, la Altura Elipsoidal (**h**) es la distancia, según la normal al elipsoide de referencia, entre un punto de la superficie terrestre y dicho elipsoide.

En definitiva, si se conoce la diferencia entre el elipsoide y el Geoide para el punto, llamada Ondulación del Geoide (**N**), pueden relacionarse las alturas definidas mediante:

$$h = H + N$$



A efectos de este trabajo, simplificando conceptos, se puede relacionar ambas alturas, Elipsoidal y Ortométrica, a través del valor de **N**. El cual, se puede obtener mediante la elección de un Modelo Geoidal que corresponda, conociendo Lat y Long del punto.

Los Modelos Geoidales surgen, de acuerdo a expresado en el trabajo *Estudio y Refinamiento de Modelos Geoidales*, tras la comprobación que el Geoide no coincide sensiblemente con el Elipsoide de Revolución, o sea, a sucesivos ajustes o conocimiento de la real forma de la

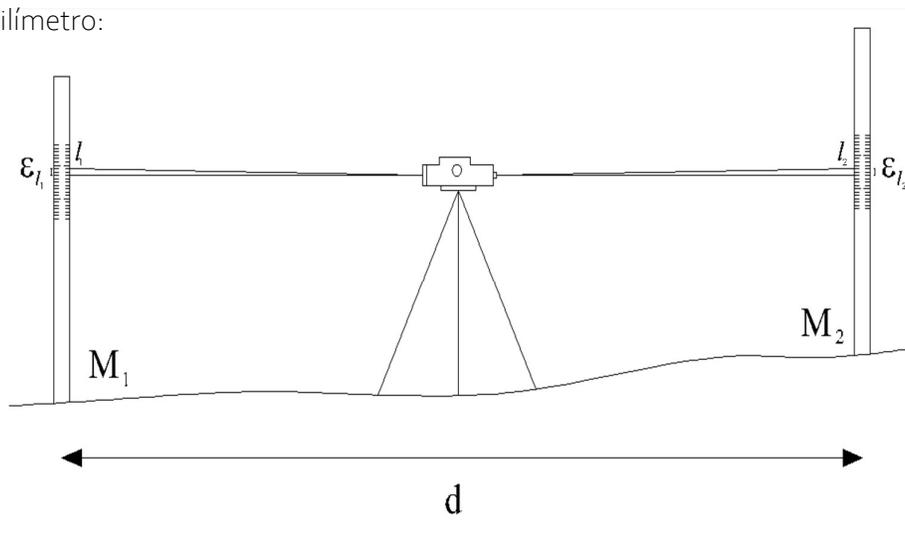
Tierra. Asimismo, a que la distribución de la fuerza gravitatoria no es homogénea como se supone al medir sobre el elipsoide.

Resumiendo, considerado un punto y conocidas sus coordenadas geográficas el Modelo Geoidal elegido (hay varios y pueden ser globales o locales) brinda el **N** para relacionar las alturas.

La **Nivelación Geométrica** es un procedimiento que se realiza utilizando un instrumento compuesto básicamente por un anteojo que es posible situarlo de modo que su eje visual sea perpendicular a la línea de gravedad, de modo que al girarlo manteniendo esa condición describe un plano horizontal.

El procedimiento en sí consiste en medir sobre una regla, también vertical en el lugar, lecturas que son la distancia entre el plano horizontal y la superficie terrestre donde está apoyada la regla eventualmente. Luego la diferencia de lectura coincide con el desnivel entre los puntos del terreno, de ese modo, conociendo o dada por conocida la Cota Altimétrica de uno de ellos se conoce la del otro, y así sucesivamente.

Una evaluación de la precisión del procedimiento puede hacerse considerando las condiciones que presenta este tipo de trabajos. Considerando que los puntos del terreno no están separados más de 100m y que el error de la lectura sobre las miras o reglas es del orden del milímetro:



$$d = 100\text{m}$$

$$\Delta h = L_1 - L_2$$

$$\varepsilon L_1 = \varepsilon L_2 = \sigma^2_l = \pm 1 \text{ mm}$$

$$\sigma^2_{\Delta h} = (d\Delta h / dl_1)^2 \cdot \sigma^2_l + (d\Delta h / dl_2)^2 \cdot \sigma^2_l = 2 \cdot \sigma^2_l$$

$$\sigma^2_{\Delta h} = 2 \cdot \sigma^2_l$$

$$\sigma_{\Delta h} = \sqrt{2} \cdot \sigma_l$$

A lo largo de un circuito de nivelación con n estaciones o cambios, con una distancia d entre cada uno, la distancia total recorrida en el circuito será D (suma de las parciales).

$$D = d_1 + d_2 + \dots + d_n$$

Lo mismo con el desnivel total, que será la suma algebraica de los desniveles parciales,

$$\Delta H = \Delta h_1 + \Delta h_2 + \dots + \Delta h_n$$

Propagando nuevamente errores, se concluye similarmente:

$$\sigma^2_{\Delta H} = (d\Delta H / dh_1)^2 \cdot \sigma^2_{\Delta H} + \dots + (d\Delta H / dh_n)^2 \cdot \sigma^2_{\Delta H} = n \cdot \sigma^2_{\Delta H}$$

$$\sigma_{\Delta H} = \sqrt{n} \cdot \sigma_{\Delta H}$$

$$\sigma_{\Delta H} = \sqrt{2n} \cdot \sigma_l$$

O sea, el error de cierre en un circuito de nivelación es la raíz del doble del número de cambios por el error en cada uno de ellos. Suponiendo que cada cambio es similar del orden de los 100m entre ellos. En el tramo considerado de costumbre para la intervención en rutas: 10 km, el error de cierre será del orden de los 14mm. O debería ser.

Con GNSS la práctica demuestra que no es posible esa precisión, al menos en un tiempo de medición práctico para las tareas en cuestión.

En resumen, la variación del dato altimétrico debido a los errores de los procedimientos, es menor con la Nivelación Geométrica que con GNSS.

Este es el motivo principal como justificativo del mantenimiento de un método tradicional frente a los modernos.

Sumado a esto, que un aparato de nivelación no necesita buena conexión de radio o internet, ni ninguna cantidad de satélites suficiente para realizar la tarea.

No se trata de desvirtuar de ninguna manera los métodos modernos, simplemente el estado del arte en Uruguay de los trabajos de construcción referidos lleva a estas consideraciones.

Viene al caso lo anterior acorde a lo expresado en cuanto a la decisión del uso de topografía convencional para el relevamiento, previendo una eventual aplicación de otra tecnología. En otros términos, usar indistintamente Topografía Convencional: Nivel y Estación Total o GNSS. Siempre teniendo en cuenta la realidad actual de los procedimientos constructivos.

El uso de nivelación geométrica lo justificamos, además, con la intención de lograr un cierre milimétrico de las cotas altimétricas de la red. A diferencia del centimétrico que se obtiene con GNSS. Esto, considerando una aplicación práctica y rápida de este último instrumento.

El presente trabajo, más allá de contar con datos para posibles modificaciones, como la Latitud y Longitud de los MR (Mojones de Referencia colocados), considera el uso de Estación Total y Nivelación Geométrica para la realización de las tareas.

Por otra parte, a pesar que en la actualidad el uso de GNSS para tareas de replanteo de obras y en sistemas de control de maquinaria está disponible, la realidad es que la mayoría de las empresas continúan trabajando con tecnologías previas y, en los casos que han adquirido instrumentos de nuevas tecnologías, aún no existe una atención técnica rutinaria desde dentro de las mismas.

Teniendo en consideración el tipo de obras que se está tratando en las que, por comodidad del operador o dificultad en llegar a la referencia oficial, no se referencian con puntos o hitos del IGM (Instituto Geográfico Militar). O sea, no se relacionan con un Cero Oficial, que podría considerarse la "cota" del Geoide, la diferencia de lecturas en un determinado punto, tanto por Nivelación Geométrica (u Ortométrica) como con GNSS; no da necesariamente el N (Ondulación Geoidal).

Ahora sí, mediante la elección de un Modelo Geoidal, se calcula u obtiene el N para el punto dado, entonces puede relacionarse (para el sistema elegido), h con H (la altura elipsoidal con la ortométrica).

Es el modo que existe para trabajar, con ciertos cuidados, tanto con el sistema ortométrico como con uno elipsoidal.

Todo esto, como ya fue expresado, para permitir el uso de instrumentos (por ejemplo, automatismo de máquinas) que requieran de uno u otro sistema.

Ejemplo: sistema 3D por GNSS o el mismo con Estación Total Robótica.

4-2 ESTACION TOTAL y GNSS

Básicamente, las Estaciones Totales surgen de la conjunción de un teodolito y un distanciómetro.

El teodolito es un instrumento óptico que sirve para medir ángulos horizontales a partir de una dirección de referencia y ángulos verticales a partir de la vertical del lugar, utiliza elementos graduados que le permiten su utilización topográficamente (goniómetro).

Un distanciómetro, es un instrumento electrónico que mide distancias entre dos puntos. Tarea que antes se hacía con una cinta métrica.

La combinación de ambos para tareas de Taquimetría, que es un procedimiento indirecto para medir distancias y diferencias de elevación, es el más difundido para realizar relevamientos topográficos del terreno.

Hoy en día se cuenta con tecnología GNSS (Global Navigation Satellite System o Sistema de Navegación Global por Satélite) que se trata de un sistema que transmite rangos de señales para el posicionamiento y localización sobre el globo terrestre desde una constelación de satélites.

A pesar de esto último, se sigue utilizando en la mayoría de las obras viales ambas tecnologías o procedimientos. Esto por varios motivos, que van desde económicos hasta los de la precisión requerida.

En este caso de estudio, los motivos económicos representados principalmente por la variable tiempo juegan a favor frente a la precisión requerida en particular para las áreas pavimentadas, como ya se expresó.

Planimétricamente ambos procedimientos brindan precisiones similares entre 1 y 2 cm, pero es desde el punto de vista altimétrico que encontramos, para las áreas mencionadas, algún inconveniente. Es por eso que se plantea, además, el cierre de la Red de Referencia altimétricamente mediante Nivelación Geométrica.

No obstante, se analizarán los resultados obtenidos mediante taquimetría con Estación Total, apoyada en esa Red de Referencia, contra los obtenidos mediante fotogrametría utilizando UAV.

La taquimetría realiza el cálculo de la altura mediante la Nivelación Taquimétrica y corresponde un pequeño recordatorio de la precisión de sus resultados. Deben considerarse principalmente los errores de altura del instrumento y de lectura de mira, junto con el error angular de la medida.

$$\varepsilon_{hi} = \pm 1 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_m = \pm 1 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_{ang} = \pm 2 \text{ mm}$$

datos tomados de la bibliografía de referencia suponiendo una distancia D entre instrumento y mira de 100m. En la práctica es imprescindible que el topógrafo tenga esto presente, trabajando siempre en un entorno cuyo radio no supere esa distancia.

Entonces, propagando errores:

$$\varepsilon_z = \pm 15 \text{ mm}$$

Los datos recabados consisten en un conjunto de puntos identificados por sus coordenadas cartesianas espaciales: (x, y, z) , referidas al sistema de referencia confeccionado para el relevamiento. Cada punto representa un elemento del espacio con algún interés determinado para los fines del estudio y proyecto.

Ese conjunto permite la confección de un modelo de representación del objeto (en un sentido amplio) de estudio.

Ahora bien, cuando el método de recolección es utilizando taquimetría con una Estación Total, la elección de los puntos representativos es subjetiva, como ya se expresó en las Consideraciones Generales. O sea, depende de la percepción y de la experticia del operador o técnico recolector.

No obstante, a efectos de reducir dicha objetividad y estandarizar la tarea, tradicionalmente se han desarrollado costumbres transformadas en métodos tales como la distribución por

medio de una cuadrícula de los puntos a relevar. Las dimensiones de los cuadrados de esa cuadrícula la determinan los requerimientos de precisión del producto final.

En el caso de mediciones de áreas y/o volúmenes en zonas de formato asimilable a un gran cuadrado o trapecio, la distribución de la malla es un cuadrículado aplicado imaginariamente a la superficie y representado por elementos de marcación (estacas) dispuestos equidistantes entre sí según las direcciones principales.

En los casos de obras lineales a estudiar, el concepto parte del mismo origen, pero en este caso, hay un eje según la dimensión predominante y secciones transversales al mismo dispuestas regularmente a lo largo.

Sobre cada una de esas transversales, se toman los puntos representativos, los cuales pueden ser equidistantes en una distribución regular, o lo que es más común y práctico, elegidos por su participación en la definición de la "forma" del terreno relevado. Aquí aparece la subjetividad, principalmente en las zonas en estado natural, o que no cuentan con obra preexistente. Para lograr una objetividad, se debería confeccionar una distribución de puntos tan próximos que provocaría que la tarea sea impracticable.

4-3 UAV

UAV = Unmanned Aerial Vehicle. En español: Vehículo Aéreo no Tripulado.

También conocidos coloquialmente como DRONE o DRON, ya que *drone* en inglés significa, zumbido o zángano.

Este tipo de vehículos existen en una amplia y variada disponibilidad, en cuanto a formas, tamaños, tipos de propulsión, sistemas de pilotaje, configuraciones, etc.

Son básicamente vehículos no tripulados, o sea, no transportan personas que los dirijan o piloteen. Hace unos años, el Aeromodelismo era la actividad que se realizaba con este tipo de aparatos, con fines recreativos. En algún momento alguien se instaló una cámara fotográfica, o más recientemente, una cámara de video grabación y consiguió registrar imágenes aéreas del terreno.

Desde hace tiempo, imágenes aéreas del terreno eran obtenidas mediante vuelos en aviones tripulados que llevaban instaladas cámaras fotográficas con características aptas para el registro de fotografías que luego mediante las técnicas de Fotogrametría, brindaban productos cartográficos.

En particular, para el presente trabajo, los UAV que se requieren deben ser de tamaño pequeño, autonomía para conseguir un registro suficiente de datos, que sostengan la posibilidad de conocer su posicionamiento y que permitan el transporte y control de una cámara fotográfica. Esto último presenta varias posibilidades teniendo en cuenta el tipo de dato que se quiere obtener, variando el rango de longitudes de onda que pueda registrar.

Los propósitos actuales son la obtención de un registro topográfico del terreno, de ese modo nos limitamos al más común del tipo de cámara que registra dentro del espectro visible y con buena calidad.

Es que lo que se va a hacer es un procesamiento mediante la Fotogrametría de las imágenes obtenidas a los efectos de poder "medir" en las tres dimensiones espaciales en ese producto.

Como es fácil deducir, se hace algo similar a lo realizado con aviones, pero a un costo muy inferior. Además, con una disponibilidad para encarar una misión muy superior.

Entonces, si bien hablamos de Drones, UAV, etc., lo que en definitiva importa como recurso, es el producto que brinda la Fotogrametría. Los vehículos y accesorios son los medios.

Los vuelos o misiones con UAV se planifican (con software acorde) de modo de cubrir en su trayectoria aérea toda el área en cuestión. En ese sentido se tendrá una serie de fotografías consecutivas que combinadas conforman un mosaico de una imagen general.

Mediante más software, o mediante otro proceso, las imágenes se corrigen a efectos de resultar perpendiculares al eje vertical por el centro de la fotografía y como están referenciadas a un sistema de referencia, se disponen en orden para conformar el mosaico mencionado.

Mencionado brevemente lo anterior, a efectos de resaltar el hecho que un vuelo con fines fotogramétricos con UAV, resulta en una gran malla de puntos tomados del terreno.

El conjunto de imágenes obtenidas sobre la trayectoria a intervalos determinados, forma una malla mayor y cada imagen en si misma es un conjunto de pixeles o cuadros que la conforman. En resumen, una muy densa malla o cuadrícula de puntos.

Se observa fácilmente que, con métodos topográficos tradicionales, taquimetría, por ejemplo, es una empresa casi imposible.

4-4 INTERPOLACION

En este párrafo se trata sobre un tema clave para el presente análisis. Se mencionó que la elección de los puntos representativos del terreno que está siendo relevado cuando el método no contempla una distribución regular (malla o cuadrícula) de los mismos, inevitablemente depende de factores subjetivos. Cuanto más densa la cuadrícula menor la dependencia con la subjetividad del operador. Pero al mismo tiempo, más impracticable el procedimiento.

En todo caso, la meta como producto generalmente es un *modelo digital* de lo relevado, con diferentes calidades o volúmenes de información de acuerdo al método seleccionado.

Ahora, cualquier representación o modelo digital del terreno parte básicamente de un *Modelo Digital de Terreno* (MDT).

Consultado el libro, *Introducción a la Fotogrametría y Cartografía aplicadas a la Ingeniería Civil*, Elia Quirós Rosado.

Un Modelo Digital de Terreno (MDT), es un conjunto de datos numéricos que describe la distribución espacial de una característica del terreno, sea cual fuera. A partir de eso, pueden derivar diversos tipos:

- Modelo Digital de Elevaciones (MDE), que es una representación visual y matemática de los valores de altura de un terreno con respecto a un plano o estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de la altitud de la superficie del terreno.
- Modelo Digital de Superficie, captura las características naturales y las construcciones sobre la superficie terrestre; además del relieve contiene elementos u objetos presentes. Es generalmente un producto del procesamiento inicial fotogramétrico del que posteriormente se eliminarán elementos que no hacen al objeto de diseño, tales como árboles, construcciones a demoler, etc.

Para tareas como la planteada, se trabaja con un MDT compuesto por el MDE y una capa conteniendo una descripción del elemento relevado cuando el relevamiento es directo. Cuando se realiza mediante captura de imágenes se depende de una identificación visual posterior.

Podemos expresar a un MDT, en particular MDE, de este modo:

$$z = f(x, y)$$

pero representa un campo de variación continuo.

Nuestro relevamiento es una vez procesado, un modelo matemático discreto y esto obliga a definir elementos discretos que simplifican la codificación de la elevación. Entre otros se encuentran:

Curvas de Nivel, que son líneas definidas uniendo puntos del terreno con la misma elevación.

Red Irregular de Triángulos (TIN), conformada por triángulos creados a partir de tripletas de puntos relevados cercanos y no colineales, para formar un mosaico.

Lo que se intenta transmitir, es que nuestro relevamiento en sí es un modelo de la realidad, y se definen elementos para su concretización por algún medio. En particular, digital.

Así que, un MDT se puede definir mediante Curvas de Nivel, TIN (Triangular Irregular Network) o Raster (matriz de celdas o píxeles con datos asociados).

Otra definición para MDT es: conjunto de capas (RASTER = representación mediante celdas con estructura regular) que representan distintas características de la superficie terrestre derivadas de una capa de elevaciones llamada Modelo Digital de Elevaciones.

El formato Raster y corresponde una definición más amplia del mismo. En su forma más simple, un ráster consta de una matriz de celdas (o píxeles) organizadas en filas y columnas (o una cuadrícula) en la que cada celda contiene un valor que representa información, como la temperatura. Los rásteres son fotografías aéreas digitales, imágenes de satélite, imágenes digitales o incluso mapas escaneados. (*Curso SIG, Tema 4, Univ. de Murcia*)

El MDE se logra a partir de datos tomados en el terreno por Topografía Convencional o GNSS, en forma directa. O, indirectamente, usando Restitución Fotogramétrica.

En todo caso es necesario **interpolar**, dado que los datos son discretos. En el caso de los datos de la taquimetría, la interpolación toma mayor importancia debido a la distancia entre datos.

La **Interpolación** parte de un muestreo de puntos del conjunto discreto de estos, y pretende construir una función de ajuste a efectos de obtener nuevos puntos.

Existen varios tipos, pero puede considerarse para este análisis, la *Polinómica* y las utilizadas por programas CAD (Computer Aided Design), *NNI* (Natural Neighbor Interpolation) y *Kriging*.

La interpolación polinómica es una técnica de interpolación de un conjunto de datos o de una función por un polinomio. Es decir, dado cierto número de puntos obtenidos por muestreo o a partir de un experimento se pretende encontrar un polinomio que pase por todos los puntos y se lo llama Polinomio de Interpolación o Interpolador. Las formas de obtención del mismo pueden ser utilizando diferencias divididas de Newton y de Lagrange.

La Interpolación Lineal, que es la más usada, es un caso particular de la mencionada Interpolación Polinómica resuelto el Polinomio Interpolador por Newton:

$$f(x/x_1; x_2) = f(x_1) + \frac{f(x_2) - f(x_1)}{(x_2 - x_1)}$$

Para gran parte del procesamiento de datos se usa el programa de Autodesk Civil 3D, como se mencionará más adelante.

El modelo del terreno obtenido por este medio, usa la información de los puntos relevados directamente para mediante *Triangulación*, generar un **TIN** (ya descrito) que se muestra como una *superficie*. Los métodos de interpolación ya mencionados, **NNI** y **Kriging**, realizan lo que el programa denomina "suavizado" de la superficie.

NNI usa la información de los puntos conocidos de la triangulación para calcular una media ponderada de las elevaciones adyacentes al punto **P** a agregar. El número de adyacentes depende de la triangulación y el número de puntos al que se conectaría P si se insertara en la superficie.

NNI, estima la elevación **Z** de un punto aleatorio sado un conjunto de puntos con elevaciones conocidas.

Solo como mención: **Kriging**, es un procedimiento geoestadístico avanzado que genera una superficie estimada a partir de un conjunto de puntos dispersados con valores z . Requiere de un modelo de dependencia o continuidad espacial como una muestra de datos de la superficie.

En el trabajo, se pretende evaluar la calidad de los datos obtenidos fotogramétricamente frente a los métodos tradicionales directos. En particular en los puntos contenidos sobre la calzada de la ruta existente que son de particular interés.

Comparar lo discreto del relevamiento clásico frente a lo "pseudo-contínuo" del vuelo.

No se debe confundir esta comparación con la determinación del error en los puntos obtenidos por uno u otro método. O sea, más allá del error del conjunto, está la *forma* del conjunto. Lo que quiere significar, que la representatividad del terreno se podría suponer por el mayor volumen de datos a pesar que el error en cada uno de los puntos sea mayor.

4-5 FOTOGRAMETRIA

La fotogrametría, como parte de la interpretación de imágenes, es una disciplina que permite formular modelos 3D a partir de fotografías 2D; es una técnica de medición indirecta ya que las mediciones no se efectúan sobre el objeto, sino sobre imágenes del mismo. La fotogrametría se apoya fundamentalmente en las relaciones matemáticas de la geometría proyectiva y de la visión estereoscópica que posee naturalmente el ser humano (*Cátedra: Fotointerpretación, Univ. Nacional del Nordeste*).

Es importante destacar que casi toda la cartografía relevada en el mundo ha sido generada a partir de la fotogrametría. Desde sus inicios hasta la actualidad la fotogrametría ha ido de la mano de la tecnología, dando pasos desde la fotogrametría analógica, pasando por la fotogrametría analítica, llegando a la fotogrametría digital.

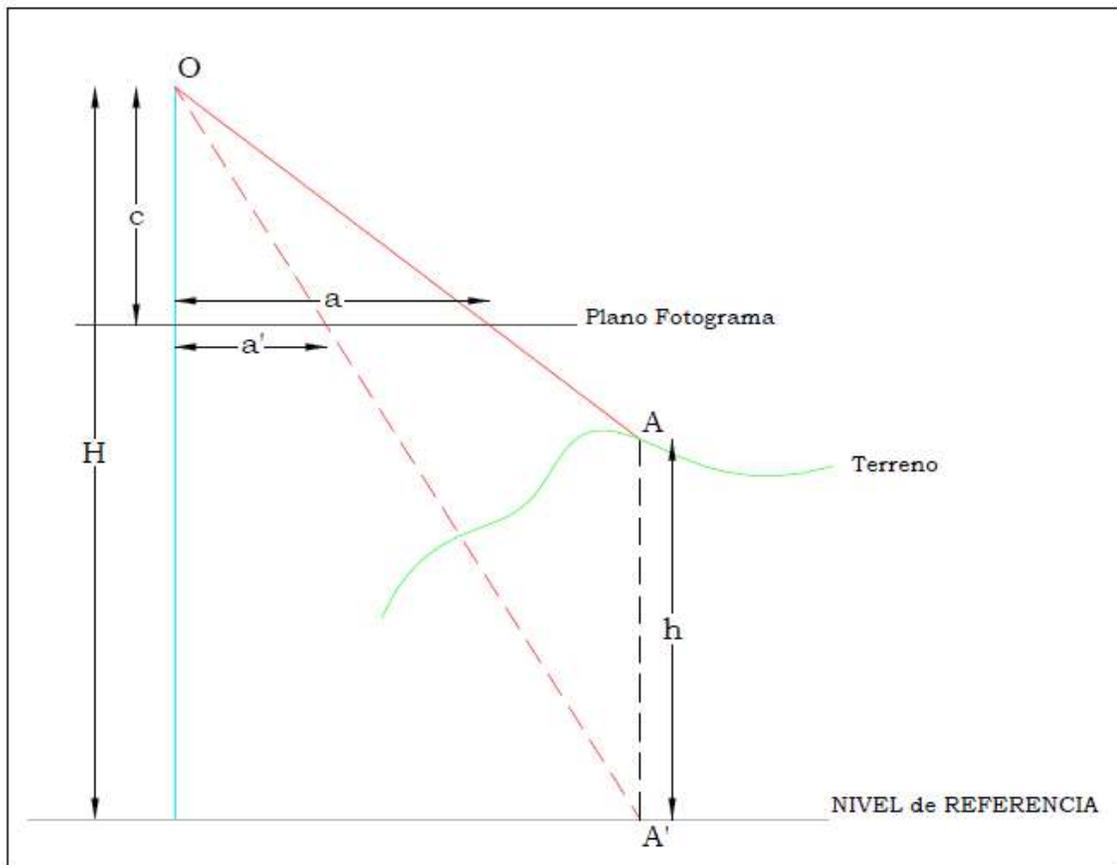
El método o fundamento de la fotogrametría se basa en la obtención de dos fotografías aéreas verticales sucesivas, que toman un punto común del terreno y a partir de la restitución de los haces de proyección (restitución por aberraciones del objetivo, distorsiones generadas por deformaciones de la película o negativo, distorsiones atmosféricas y otras distorsiones por desviación de la vertical) es posible obtener las coordenadas del punto en ambas fotografías a partir de un eje de referencia relativo y de esta manera obtener semejanzas geométricas entre las dos imágenes.

Intervienen en los procedimientos que atienen a la Fotogrametría, los conceptos:

- Formato Raster, modelo que divide sistemáticamente el espacio, cubriéndolo todo (Teselación) como un conjunto de unidades elementales (celdas, píxeles) donde cada una contiene un valor representativo.
- Formato Vectorial, no divide el espacio completamente, lo define mediante elementos geométricos con valores asociados con disposición no sistemática.

Estos conceptos actualmente debido a las tecnologías informáticas disponibles que permiten su uso indiferente, se llegan a confundir. Sin embargo, son útiles como conceptos para un desarrollo eficiente de la tarea.

El Principio Básico de la Fotogrametría, es el desplazamiento radial que sufre un punto en el fotograma debido a su altitud. Esto hoy día vale como concepto también, dado que en general trabajamos con imágenes digitales.



c = distancia focal de la cámara

H = altura del vuelo

Se deduce a partir del esquema que la altura sobre el nivel de referencia es,

$$h = [(a - a') / a] * H$$

pero se observa que no se puede conocer directamente el valor a'

Paralaje:

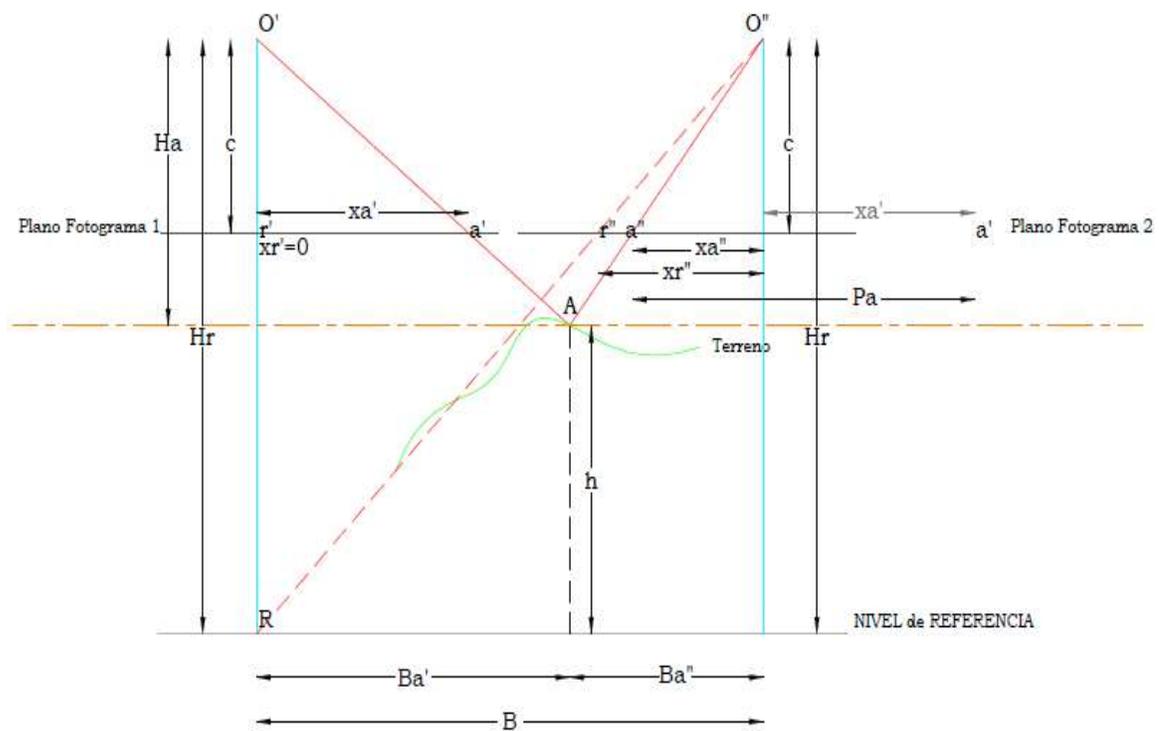
Desviación angular de la posición aparente de un objeto, dependiendo del punto de vista elegido.

Paralaje Estereoscópica:

Cambio de la posición de la imagen de un punto en dos fotografías o imágenes debido al cambio de posición de la cámara entre cada toma.

Matemáticamente, "diferencia en valor absoluto de las coordenadas del punto en dos fotografías sucesivas dado un sistema cuyo Ox es la línea de vuelo y, Oy pasa verticalmente por el Punto Ppal. de cada foto".

Los conceptos definidos sirven para salvar el problema de no conocer a' .



Teniendo en cuenta el esquema:

O y O' son las posiciones de la cámara entre dos tomas sucesivas.

A es un punto sobre el terreno

R es el pie del eje vertical del fotograma 1 sobre el plano de referencia.

a' y a'' son las proyecciones de A sobre los fotogramas 1 y 2 respectivamente

r' y r'' son las proyecciones de R sobre los fotogramas 1 y 2 respectivamente

Hr, altura de referencia

Ha, altura de vuelo sobre el punto A

c, distancia focal

xa', xr', abscisas de a' y r' en fot.1 (xr' = o)

xa'', xr'', abscisas de a'' y r'' en fot.2

Pa = xa' - xa'' (PARALAJE, habiendo trasladado la abscisa de a' al fot.2)

B, distancia entre las dos tomas sucesivas

Se puede hallar una relación entre el Paralaje y el Nivel de Referencia,

$$Hr / B = c / xr'' \quad xr'' = Pr, \text{ paralaje de R}$$

Luego

$$Ha / B = c / Pa$$

Pero interesa la altura de A respecto al plano de referencia,

$$h = Hr * ((Pa - Pr) / Pa)$$

Conocida la altura del vuelo Hr respecto al nivel de referencia, la distancia focal de la cámara usada; se mide Pa utilizando 2 fotogramas de A y se obtiene Ha y luego h.

De lo anterior surge que la altura del punto analizado depende de las paralajes estereoscópicas del propio punto y el del nadir del fotograma anterior y de la altura del vuelo. Los primeros tienen magnitudes de orden milimétrico, en cambio la altura de vuelo del centenar de metros.

Por otra parte, la determinación de las paralajes se realiza en gabinete (o mediante software) con un error determinado. En cambio, la altura de vuelo se mide en forma mucho más imprecisa. Antes con un altímetro, hoy día mediante GNSS, o sea se toma la Altura Geoidal aplicando un Modelo Geoidal conveniente.

Actualmente la determinación de las paralajes, con la fotografía digital, se ha vuelto mucho más precisa gracias a la gran nitidez lograda. Eso permite una identificación mucho más eficiente del punto analizado en diferentes imágenes.

Los puntos de control en el terreno son los que permiten el ajuste tridimensional entre la realidad y lo relevado, a la identificación de esos puntos en particular contribuye la mejora en las imágenes, entre otros.

Todo lleva a suponer que la precisión del procedimiento mediante UAV, va a diferir frente a los procedimientos directos. Variada bibliografía, tales como *Influencia de los GCP o Control posicional en relevamiento fotogramétrico con UAV*, indica en ese sentido, siempre con precisiones entre 2 y 6 cm planimétricamente y entre 5 y 9 cm altimétricamente.

Las precisiones planimétricas, a los efectos de los trabajos a proyectar (cómo ya se mencionó reiteradamente), son aceptables.

Sin embargo, no puede decirse lo mismo de las altimétricas. Necesitamos que dicho entorno de incertidumbre esté en el entorno de -1.5cm a +1.5cm, que es factible con determinados cuidados por los métodos tradicionales.

Se han dado por conocidos varios aspectos que se tienen en cuenta en el procesamiento fotogramétrico, tales como distorsiones de objetivo de la cámara, atmosférica, verticalidad del eje de la imagen, esfericidad terrestre y muchos más. No son tema del presente trabajo.

Resta la realización del trabajo en campo y su posterior procesamiento y análisis.

5. DESARROLLO del TRABAJO

5-1 HERRAMIENTAS DISPONIBLES

Existen varios productos comerciales para la realización de las tareas planteadas.

No es nuestro propósito un análisis al respecto, por tanto, mencionaremos los que disponemos coyunturalmente.

Estación Total: Trimble M3

Nivel de línea automático: Sokkisha B2C 32 aumentos

Receptor GNSS: Leica GS-08

UAV: e-bee classic y su software de control, eMotion 3

Procesamientos fotogramétricos: Pix4Dmapper

CAD: AutoDesk Civil 3d 2020

Una herramienta muy común para estas tareas es el programa Civil 3D de Autodesk. Más que un programa de dibujo, es uno de procesamiento de datos del terreno al trabajar con puntos y sus coordenadas tridimensionales.

Con estos puntos se elaboran superficies que son modelos de terreno en su concepto más general, las cuales son utilizadas para cálculos varios. La aproximación del modelo al terreno real se realiza mediante una malla de triángulos TIN.

En los casos que estamos considerando, el terreno no presenta en general cambios bruscos de pendiente, quiebres, puntos superpuestos (como en una cantera, por ejemplo). Por eso no profundizaremos demasiado en las posibilidades de interpolación de puntos relevados.

Para la restitución fotogramétrica disponemos del programa Pix 4D.

El plan de vuelo con el UAV e-bee classic, lo realiza previa planificación, el programa de control eMotion 3.



Captura de pantalla del programa eMotion del plan de vuelo de una de las misiones con el dron eBee classic. Se observan la trayectoria seguida con las imágenes tomadas.

5-2 DATOS de CAMPO

Los datos de campo para este trabajo fueron tomados sobre la Ruta Nacional N°8 entre los kilómetros 46 y 65, aproximadamente.

El motivo, real, analizar la posibilidad de construir una doble vía en ese tramo, como continuidad de la existente hasta esa progresiva.

Los procedimientos seguidos por el autor y colaboradores hasta el presente trabajo, eran y son, los tradicionales actualizados. O sea, confección de un Sistema de Referencia compuesto por mojones de varilla de hierro embebida en hormigón. Relevamiento georreferenciado de los mismos con GNSS y Nivelación Geométrica Ortométrica de las cotas de los mojones.

Para los trabajos con GNSS se utilizó el Método Diferencial con NTRIP al IGM (Instituto Geográfico Militar del Uruguay), usando VRS (Virtual Reference Station).

Luego, el relevamiento de la zona de estudio con Estación Total. En la mayoría de los casos y en este en particular, se trata de relevamientos para obras lineales. De modo que la rutina del mismo es según un eje existente o a definir, en perfiles transversales cada 25m (12.50m eventualmente) y sobre cada perfil tomar puntos representativos: eje, bordes de pavimento, bordes de banquina, bordes superiores de talud, fondo de cuneta o pie de talud, contratalud, quiebres de pendiente del terreno, alambrados o límites de faja pública, alcantarillas y puentes, etc.

La alternativa a prueba, el vuelo con UAV para obtener imágenes a procesar por fotogrametría.

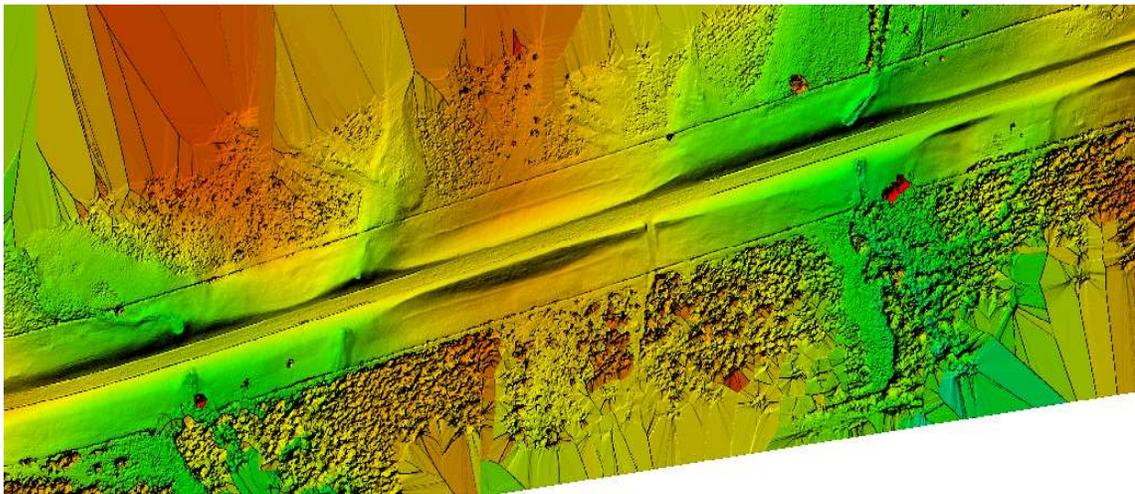
El dron utilizado: eBee classic, cuyo vuelo fue totalmente programado o planificado mediante el software eMotion 3, indicando previamente la zona a relevar y la precisión deseada. Luego las imágenes obtenidas fueron procesadas con el programa Pix 4D, que utilizando la georreferenciación de las propias imágenes y la más precisa de los GCP (Ground Control Point), realiza la composición y ajuste de todas ellas en una sola.

Sobre los GCP existe variada bibliografía, en particular se consultó el trabajo, *Influencia de los GCP*, Universidad Politécnica de Madrid, que más allá de la forma de materializarlos en

el terreno, analiza su influencia en el producto de acuerdo a su densidad en el área a relevar.



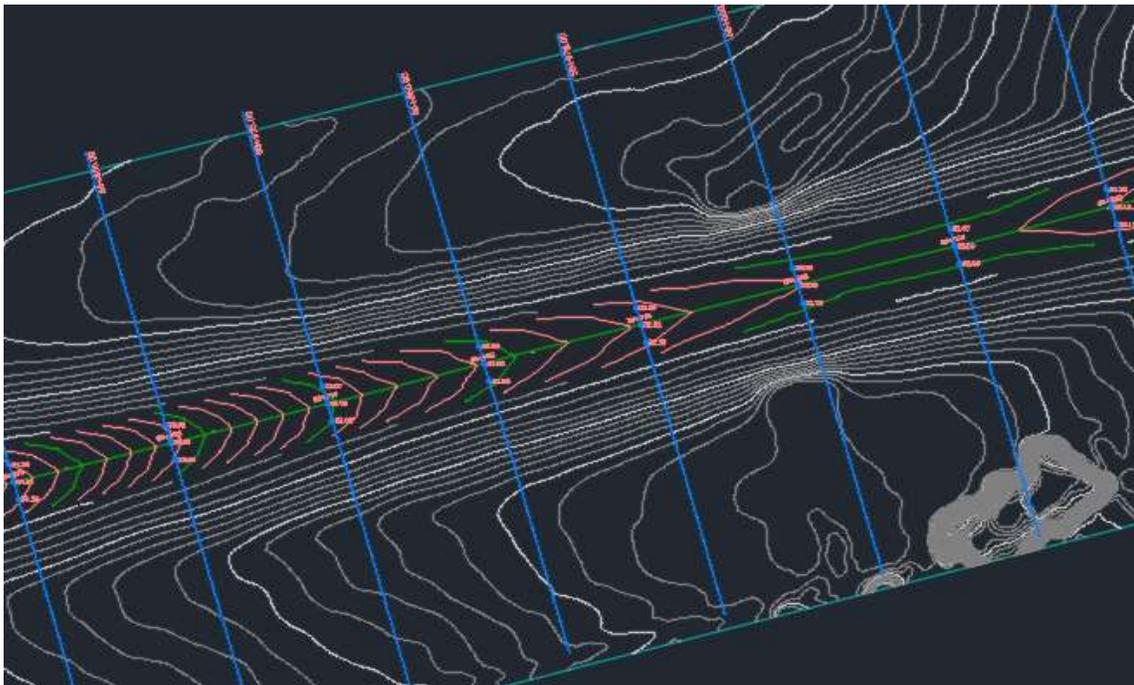
Captura de pantalla del programa Pix4D del procesamiento de uno de los vuelos, imagen parcial del ortomosaico correspondiente.



Captura de pantalla del programa Pix4D del procesamiento de uno de los vuelos, imagen parcial del Modelo Digital de Superficie (MDS) correspondiente.

Los resultados de ambos procedimientos son un modelo digital del terreno. Por una parte, los datos de la taquimetría procesados con un programa CAD dan por producto una superficie. Con la fotogrametría se llega a lo mismo, luego de tratar uno de los productos que brinda el software, curvas de nivel como polilíneas, con el CAD.

Se utilizó el programa CAD, Civil 3D de Autodesk. La superficie del terreno se confeccionó aportando las curvas de nivel en forma de polilíneas mencionadas.



Captura de pantalla del programa Civil3D, se observan parcialmente las superficies Corona (en colores) y la del Terreno correspondiente al vuelo (en grises). También las secciones transversales y los puntos de análisis.

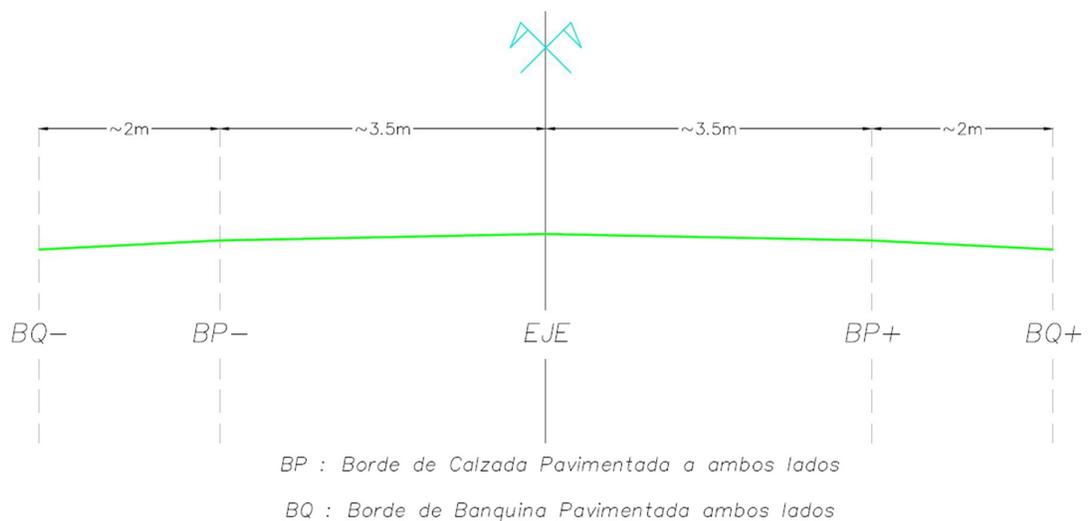
Aquí los conceptos de interpolación comentados, son aplicados por el programa a efectos de lograr un modelo del terreno lo más representativo.

Por otra parte, los datos recogidos por taquimetría mediante Estación Total, son ingresados como puntos que son insumo para lograr la superficie correspondiente. En este caso, la interpolación es definida más directamente por el usuario mediante las denominadas por el Civil 3D, *breaklines*. Estas unen los puntos considerados interpolables por el operador.

La taquimetría se realizó limitando los puntos relevados a la *calzada pavimentada* de la ruta existente, o sea: eje, bordes de pavimento y bordes de banquetas. Se optó por esto porque justamente esa zona es la que demanda mayores precisiones, principalmente altimétricas. Como ya fue explicado, en la mayoría de los casos se trata de mejoramientos a la calzada existente por tanto lo de la precisión.

En nuestra situación la nueva vía, podría ubicarse en contacto con la existente o no. Si se trata de lo segundo, no sería fundamental la precisión sobre la calzada actual. No obstante, dada la propuesta del presente trabajo de análisis de la viabilidad del uso de UAV para estas tareas, esa zona resulta de interés más allá que se use en el diseño o no.

Esquema de Calzada Pavimentada Existente



Las superficies obtenidas con los insumos aportados por el UAV se les llamó, *Terreno Vuelo nn* y la obtenida por la taquimetría, *Corona*.

La recolección de datos geográficos como coordenadas de puntos de referencia y marcas de posición se realizó con receptor GNSS, Leica GS-08.

5-3 PROCESAMIENTO de DATOS

El procesamiento de los datos se realizó con los programas Civil 3D, Pix4D y planillas Excel.

La descripción exhaustiva de los mismos hasta obtener los modelos digitales del terreno, no son parte del presente trabajo dado que han sido tratado en innumerables estudios al respecto. El presente análisis se centra en las discrepancias entre las cotas altimétricas obtenidas por ambos caminos.

Se observará que no se analiza en lo planimétrico, por el mismo motivo expuesto para los procesamientos de datos. En otras palabras, se dan por aceptables.

Cabe recordar la importancia de la dimensión altimétrica en los proyectos en consideración.

En ese escenario, alcanza con describir los procedimientos en cuanto a lo considerado para la variable z.

Las precisiones altimétricas para el relevamiento taquimétrico son del orden del centímetro. Considerado muy adecuado para los trabajos constructivos dispuestos.

Se adoptó el valor para la desviación standard $\sigma = 0.015$

como se expresó en apartados anteriores del presente trabajo.

Dados los dos modelos digitales o superficies del terreno, **Terreno Vuelos** y **Corona**, el análisis se centró en la zona pavimentada existente, que se estudia duplicar. A los efectos, se consideraron grupos de puntos generados a partir del eje de la ruta existente, cada 25m longitudinalmente y sobre el eje y a 3m a cada lado de este transversalmente.

Si bien el tramo relevado en su totalidad fue de 19 kilómetros, donde el relevamiento con ET (estación total) se realizó cada 25 m en 5 puntos sobre el pavimento, los puntos generados sobre las superficies para el análisis se identifican como:

EJE sobre el eje o alineación definida en el CAD en base a lo relevado,
Borde a +3.00 definido en el CAD a 3m del eje hacia el lado derecho del eje,
Borde a -3.00 definido en el CAD a 3m del eje hacia el lado izquierdo del eje,

La totalidad del tramo relevado en lo que respecta a los relevamientos con UAV, se realizó en 10 vuelos consecutivos y solapados en sus extremos, con distancias entre 1500 y 2500m.

Los vuelos, que fueron realizados con un dron eBee classic, tuvieron como parámetros,

Resolución	3.8 cm/pixel
Solape Lateral	70 %
Solape Longitudinal	60 %
Altura de vuelo	160m

Para este trabajo se consideraron 3 de esos vuelos procesados, los considerados más representativos y de cada uno se extrajeron datos en 2000m, obteniéndose de ese modo 81 puntos por cada línea, o sea, 243 por cada vuelo. La muestra total fue, obviamente, de 729 puntos analizados.

A cada uno de estos se le asignó el dato de cota altimétrica de la superficie Corona y luego de la superficie Terreno Vuelo correspondiente y se confeccionaron las planillas presentadas en el Anexo al final de este trabajo.

Considerada la diferencia entre dichas cotas, *Vuelo menos Corona*, en cada línea, o sea, en muestras parciales de 81 puntos, se determinaron: Promedio, Valores Máximo y Mínimo de la muestra, y la Desviación Standard del conjunto.

La elección de los vuelos tuvo en cuenta la cantidad de puntos de control en campo colocados para cada vuelo GCP (Ground Control Point). Dichos puntos señalizados de modo que pueden ser fácilmente identificados en cada imagen como paso del procesamiento realizado con el software Pix4D, y que sirven para el ajuste del producto.

La cantidad de estos se evalúa por hectárea, há/GCP o GCP/há, y tanto la bibliografía consultada como las recomendaciones de los proveedores recomiendan un mínimo de 0.08 GCP/há para obtener una precisión altimétrica del orden de los 10cm.

- Intuitivamente puede deducirse que un aumento en la densidad de GCP se traduce en uno en la precisión altimétrica, sin embargo, se ha encontrado que no es así, en particular uno de los trabajos consultados (*Influencia de los GCP, Universidad Politécnica de Madrid, Santiago Fernández*), concluye que la variación entre 0.08 y 0.49 GCP/há no presenta mejoras para esa medida.

Los vuelos para este trabajo tuvieron densidades entre 0.19 y 0.32 GCP/há.

Como se comentó oportunamente, la realidad en las empresas de construcciones viales en cuanto a la utilización de tecnología actual, se encuentra bastante rezagada. Si bien en los últimos tiempos ha tenido una mayor aplicación, esta no se ve generalmente acompañada de los servicios de técnicos y/o profesionales dedicados al respecto. Lo que redundó en la existencia conjunta de procedimientos clásicos con estos más actuales.

Por ese principal motivo las tareas de relevamiento del pavimento existente se realizaron mediante taquimetría con ET.

Esto ocasionó el inconveniente debido a que los datos surgidos del UAV son referidos con GNSS en la proyección UTM y las cotas altimétricas son dadas en Alturas Elipsoidales, que se transforman en Alturas Geoidales luego de la aplicación de un Modelo Geoidal adecuado.

Lo que obligó a trabajar planimétricamente en esa proyección, UTM, en lugar de lo que habitualmente el autor realiza que es determinar una proyección TM local.

Esto debido a que lo último se aproxima más a la realidad medida en obra con instrumentos tales como cintas métricas y ET.

La diferencia en longitud hallada entre una y otra proyección en los 19 km relevados fue de 4.5m. O sea, 0.50m para cada vuelo.

El comienzo de utilización de sistemas de automatismo en maquinaria que usa GNSS con proyección UTM provoca la conveniencia de esto. Sin embargo, como comentario anecdótico, el autor participó como responsable de la topografía del puente nuevo sobre el Río Santa Lucía en Santiago Vázquez, cuya longitud es de 800m y que fue construido por el método denominado de lanzamiento, o sea, se construyen tramos sobre una de las orillas y luego se van empujando hasta apoyarse en las pilas sucesivamente. La construcción de estos tramos realizada por empresas metalúrgicas (puente de viga central metálica) consistió en la unión de tramos que fueron replanteados con cinta métrica o similares.

No es difícil imaginar que hubiera ocurrido cuando la estructura hubiera llegado a el último apoyo si hubiéramos utilizado proyección UTM y no la local como se hizo.

En aquella época no había gran disponibilidad de GNSS, por tanto, se trabajaba con poligonales cerradas.

Volviendo a la variable altimétrica y en ese escenario, se procedió a correlacionar los datos obtenidos por ambos métodos, Nivelación Geométrica y GNSS, apoyándose en los **MR** (mojones de referencia de la red construida).

Se obtuvo una diferencia entre las alturas de 0.279m con una desviación de 0.053m.

DATOS DE LAS ALTURAS					0.0530	Desv Std
pto	pk	ord	Z_NDS	Z_GPS	0.2785	Prom
M001	46+300	+	55.263	55.5957	0.3327	
M002	46+300	-	55.468	55.7866	0.3191	
M003	46+400	-	54.557	54.8587	0.3022	
M005	46+600	+	50.194	50.5072	0.3137	
M004	46+600	-	50.931	51.2495	0.3185	
M006	46+800	-	48.093	48.3604	0.2679	
M007	47+000	-	49.293	49.5963	0.3038	
M008	47+200	-	49.167	49.4883	0.3218	
M009	47+400	-	44.766	45.1256	0.3596	
M010	47+600	-	48.140	48.4710	0.3315	
M011	47+800	-	49.169	49.4904	0.3219	
M012	48+000	-	46.666	46.9815	0.3155	
M013	48+200	-	51.865	52.1827	0.3182	
M014	48+400	-	47.213	47.5503	0.3378	

La anterior es una vista parcial de la planilla de cálculo de la correlación entre alturas mencionadas. Se observan los **MR**, Mojones de Referencia, identificados por su denominación, progresiva y lado del eje donde fueron colocados. Luego las alturas o cotas relevadas por la Nivelación Geométrica u Ortométrica (**Z_NDS**) y las relevadas con GNSS (**Z_GPS**), con esos datos se calculan la *desviación standard* y el *promedio* de las diferencias entre ambas alturas.

En las celdas superiores derechas se presentan los valores mencionados.

Luego se analizan los datos altimétricos extraídos de las superficies en las planillas de análisis de las diferencias entre cotas altimétricas surgidas de ambos modelos del terreno en los vuelos seleccionados, se restan los datos de altura de cada superficie, Terreno por UAV y Corona por Taquimetría, en cada punto seleccionado y luego se calculan las desviaciones standard. Los resultados resumidos se muestran en la siguiente tabla:

Vuelo	DS V	DS z	DS t
04	0.042	0.053	0.068
07	0.124	0.053	0.135
10	0.081	0.053	0.097

DS V es la desviación standard para cada vuelo

DS z es la desviación standard de la conversión de altura geoidal a ortométrica

DS t es la desviación standard de la propagación de las anteriores

PROM			0.006				0.038			0.006	
MIN			-0.071				-0.045			-0.087	
MAX			0.092				0.137			0.102	
DESVEST			0.039				0.044			0.042	
	EJE				Borde a +3.00				Borde a -3.00		
PK	Z CORONA	Z V04	d Z	Z CORONA	Z V04	d Z	Z CORONA	Z V04	d Z		
50+700	31.480	31.486	0.006	31.437	31.442	0.005	31.436	31.419	-0.017		
50+725	30.543	30.548	0.005	30.491	30.535	0.044	30.491	30.459	-0.032		
50+750	29.579	29.551	-0.028	29.530	29.557	0.027	29.522	29.512	-0.010		
50+775	28.664	28.666	0.002	28.643	28.663	0.020	28.622	28.618	-0.004		
50+800	27.843	27.839	-0.004	27.823	27.839	0.016	27.810	27.798	-0.012		
50+825	27.108	27.069	-0.039	27.079	27.048	-0.031	27.067	27.036	-0.031		
50+850	26.414	26.424	0.010	26.383	26.435	0.052	26.381	26.403	0.022		
50+875	25.848	25.861	0.013	25.817	25.878	0.061	25.816	25.835	0.019		
50+900	25.375	25.378	0.003	25.342	25.401	0.059	25.337	25.355	0.018		
50+925	25.013	24.994	-0.019	24.970	25.033	0.063	24.961	24.988	0.027		
50+950	24.717	24.713	-0.004	24.674	24.734	0.060	24.670	24.733	0.063		

A modo de ejemplo, se muestra parte de una de las planillas de procesamiento, la del denominado Vuelo 04, realizado entre las progresivas 50+700 y 52+700 de Ruta 8. Se observa que los datos tomados sobre puntos de pavimento ubicados transversalmente, en el Eje y a +3.00m y -3.00m del mismo (o sea, a derecha e

izquierda), se repiten cada 25m longitudinalmente. Luego en cada uno se aplica el dato de altitud de las superficies ya mencionadas, Corona y Terreno Vuelo.

Por último, a la columna de las diferencias en cada punto y por cada línea longitudinal, se calculan: el promedio (0.006, 0.038, 0.006), los valores máximos (0.092, 0.137, 0.102) y mínimo (-0.071, -0.045, -0.087) y las desviaciones standard del conjunto (0.039, 0.044, 0.042).

Son tres de estas últimas por cada vuelo, que una vez promediadas se expresan en la tabla de la página anterior para cada uno de los vuelos analizados, (Vuelo 04, 07 y 10). Posteriormente, se aplicó el error deducido por la correlación entre datos de alturas ortométricas y elipsoidales convertidas en geoidales.

De allí resulta que las desviaciones van desde 7 a 10cm (0.068, 0.135, 0.097).

Es importante agregar las densidades de GCP para cada uno de esos vuelos, que fueron respectivamente: 0.28, 0.21 y 0.32 GCP/há. Comprobando en una primera aproximación la influencia mencionada de los puntos GCP teniendo en cuenta los resultados finales de las dispersiones.

El resultado buscado, que ambos relevamientos estén en un mismo sistema de referencia vertical, o sea, que sean comparables.

6. CONCLUSIONES

Es indiscutible la ventaja de tener como producto fotogramétrico una imagen con la posibilidad de medir sobre ella, como ejemplos: para estudiar drenajes y sus cuencas a los efectos de modificar los existentes, detectar deterioros puntuales del pavimento mediante observación directa, la determinación de árboles en la faja que no cumplen con la distancia permitida al eje de la vía, etc.

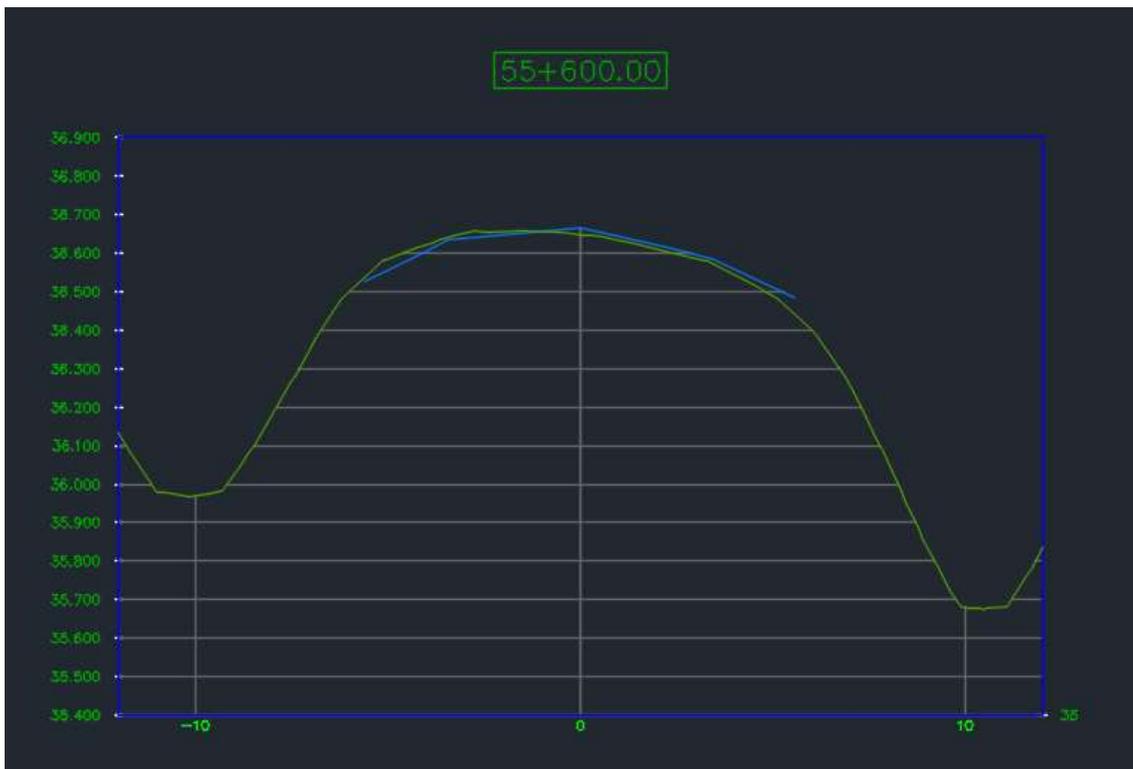
Los temas brevemente mencionados, son algunos de los problemas a resolver en un proyecto vial, que muchas veces (y más aún en la actualidad cuando los tiempos son mucho más acotados que antiguamente) son determinados en forma muy grosera y con estimaciones notoriamente mejorables.

Considerando los temas exclusivamente geométricos y de acuerdo a los datos obtenidos en campo y su posterior procesamiento, se infiere que los resultados deben considerarse en dos superficies continuas. Una obtenida por los datos relevados con los métodos tradicionales y la otra obtenida mediante fotogrametría con las imágenes del UAV.

Esto resulta evidente al comparar los datos de una y otra superficie sobre la Corona de la ruta existente. La variación aleatoria de los mismos en comparación con el comprobado históricamente del método tradicional, se puede ver en principio, gráficamente en cada perfil transversal y en los resultados expresados en el apartado anterior.

En la imagen a continuación se muestra un ejemplo de perfil transversal de lo relevado. En el mismo puede observarse la superficie obtenida con los datos UAV en verde y la obtenida con los datos de la taquimetría en azul, sobre la corona de la ruta existente.

Particularmente, la variación respecto de una a otra no es constante, que es un dato importante en el momento de evaluar el procedimiento.



Captura de pantalla del programa Civil3D, se trata de una sección transversal donde se observan parcialmente las superficies Corona (en azul) y la del Terreno correspondiente al vuelo (en verde).

Luego de un análisis sencillo cuantitativo, podemos estimar que las diferencias entre las superficies relevadas por ambas vías están en el orden de los 2 cm, pero con un error estimado utilizando la desviación standard, del orden de los 10cm que resulta inadmisibles para parte de nuestros propósitos.

La otra superficie, la resultante de las tareas con UAV, si bien mantiene ese mismo orden de variación, no es importante para los trabajos o proyectos a realizar en esa zona. Una nueva vía, o expresado en forma más general, un movimiento de suelos de ese orden, será mucho más aproximado a la realidad.

Se puede concluir entonces, que es recomendable realizar vuelos UAV y luego complementar con relevamientos topográficos clásicos tomando datos en la Corona de la ruta existente.

Lo mencionado últimamente, se traduce en un ahorro importantísimo de tiempo de trabajos en campo y los consecuentes costos económicos.

En definitiva, en situaciones donde para diseñar se requiere conocer la calzada existente con precisión y el terreno restante de la faja de camino con menor ajuste, el uso combinado de metodologías topográficas convencionales y tecnología UAV, resulta en una solución conveniente.

Si el caso es una consideración expeditiva de las posibilidades de intervención en una ruta, frente a lo que realiza hoy día el MTOP, el uso de UAV se concluye como muy conveniente.

A modo de resumen del procedimiento:

Confeccionar una red de apoyo compuesta de mojones físicos de referencia cuyas coordenadas geográficas o planas de acuerdo a una determinada proyección, se consiguen mediante la utilización de GNSS.

Nivelación geométrica de los MR.

Correlación de cotas ortométricas y alturas elipsoidales, para comparar ambos conjuntos de datos.

Relevamiento de la corona del pavimento existente mediante ET.

Vuelos de UAV para la toma de imágenes georreferenciadas y posterior procesamiento con métodos fotogramétricos.

Confección de superficies con software CAD específico a partir de ambas fuentes de datos.

Por último, se entiende pertinente la siguiente observación:

La presencia de vehículos en la calzada, algo inevitable, afecta los resultados altimétricos. Se detecta mediante los resultados estadísticos de la comparación de cotas mediante ET vs UAV.

Ante la presencia de diferencias muy por fuera del promedio y de la desviación standard, se procedió a revisar en principio los perfiles transversales que denotaban deformaciones. A continuación, la revisión de las imágenes correspondientes confirmó el registro de vehículos

en circulación y detenidos. Sobre estos últimos, cabe observar que la deformación del perfil transversal es mayor, ya que muestra la silueta del objeto, pero más fácil de detectar y descartar como sucede con los árboles y construcciones.

En cambio, los que circulan son registrados en varias imágenes, coincidentes con las progresivas donde las diferencias de cotas son mayores.

Sería motivo para otro trabajo el análisis de la influencia de objetos en movimiento en los resultados finales de la restitución fotogramétrica, en particular en la dimensión altimétrica. No es motivo del presente, además, teniendo en cuenta que las precisiones buscadas para la zona de la calzada existente no se alcanzan y que el relevamiento complementario con ET es lo aconsejado, pierde interés por el momento.

Bibliografía

- Queirós Rosado, Elia 2014. *Introducción a la Fotogrametría y Cartografía aplicadas a la Ingeniería Civil*, Servicio de Publicaciones, UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA, España. I.S.B.N 978-84-697-1317-4
- Ferreira, Andrei. 2005 *Técnicas de Interpolación Espacial*. Universidad Católica de Valparaíso.
- *Principios de Fotointerpretación*. Facultad de Ingeniería. Cátedra: Fotointerpretación. UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE, Argentina.
- Fernández, Santiago. 2019 *Influencia de los GCP sobre el terreno en la precisión de MDS*. Universidad Politécnica de Madrid.
- *Formato Raster*. Capítulo 4. UNIVERSIDAD DE MURCIA, España. Disponible en: <http://www.um.es/geograf/sigmur/index.html>
- *Modelo Digital de Terreno*. Capítulo 7. UNIVERSIDAD DE MURCIA, España. Disponible en: <http://www.um.es/geograf/sigmur/index.html>
- Bentancur, J. y Villaluenga, A. 2009 *Estudio y refinamiento de modelos geoidales*. Instituto de Agrimensura. Facultad de Ingeniería. UDELAR. Uruguay.
- Pampinella, V. y Pérez, M. 2014. *Control posicional en relevamiento fotogramétrico con UAV*. Instituto de Agrimensura. Facultad de Ingeniería. UDELAR. Uruguay.
- Rímoli, N. y Secco, P. 2017. *Estudio de las exactitudes obtenidas en relevamientos GNSS-RTK mediante VRS y DGNSS*. Instituto de Agrimensura. Facultad de Ingeniería. UDELAR. Uruguay.
- Pintos, A. y otros. 2016. *Evaluación de Calidad Posicional de un Producto UAV*. Disponible en: <http://www.agrimensores.org.uy>
- Forteza, A. 1992. *Apuntes de Caminos (2da. Edición)*. Departamento de Publicaciones de la UDELAR. Uruguay. Depósito Legal 254.476 N 2414
- Programa de software Pix4D. *Documentación Técnica*. Disponible en: <http://www.support.pix4d.com>

AGRADECIMIENTOS

Por último, destacar y agradecer la colaboración en la disponibilidad de todo el instrumental utilizado a la empresa COLIER S.A. y su apoyo en todo sentido.

A los docentes y personal del Instituto de Agrimensura de la Facultad de Ingeniería de la UDELAR, por su paciencia y colaboración para culminar algo que se dilató décadas.

Y por supuesto, a mi familia, que nunca cuestionó mi decisión de culminar esta etapa, todo lo contrario.

ANEXOS

Instituto de Agrimensura - Facultad de Ingeniería - UDELAR

PLANILLA COMPARACION COTAS ALTIMETRICAS - 50+700 a 52+700									
PROM	0.006			0.038			0.006		
MIN	-0.071			-0.045			-0.087		
MAX	0.092			0.137			0.102		
DESVEST	0.039			0.044			0.042		
PK	EJE			Borde a +3.00			Borde a -3.00		
	Z CORONA	Z V04	d Z	Z CORONA	Z V04	d Z	Z CORONA	Z V04	d Z
50+700	31.480	31.486	0.006	31.437	31.442	0.005	31.436	31.419	-0.017
50+725	30.543	30.548	0.005	30.491	30.535	0.044	30.491	30.459	-0.032
50+750	29.579	29.551	-0.028	29.530	29.557	0.027	29.522	29.512	-0.010
50+775	28.664	28.666	0.002	28.643	28.663	0.020	28.622	28.618	-0.004
50+800	27.843	27.839	-0.004	27.823	27.839	0.016	27.810	27.798	-0.012
50+825	27.108	27.069	-0.039	27.079	27.048	-0.031	27.067	27.036	-0.031
50+850	26.414	26.424	0.010	26.383	26.435	0.052	26.381	26.403	0.022
50+875	25.848	25.861	0.013	25.817	25.878	0.061	25.816	25.835	0.019
50+900	25.375	25.378	0.003	25.342	25.401	0.059	25.337	25.355	0.018
50+925	25.013	24.994	-0.019	24.970	25.033	0.063	24.961	24.988	0.027
50+950	24.717	24.713	-0.004	24.674	24.734	0.060	24.670	24.733	0.063
50+975	24.516	24.521	0.005	24.479	24.530	0.051	24.480	24.533	0.053
51+000	24.393	24.435	0.042	24.362	24.435	0.073	24.364	24.435	0.071
51+025	24.361	24.429	0.068	24.327	24.434	0.107	24.334	24.434	0.100
51+050	24.405	24.435	0.030	24.367	24.435	0.068	24.367	24.362	-0.005
51+075	24.466	24.505	0.039	24.411	26.788		24.414	24.421	0.007
51+100	24.518	24.535	0.017	24.453	24.535	0.082	24.468	24.473	0.005
51+125	24.549	24.587	0.038	24.492	27.783		24.492	24.524	0.032
51+150	24.587	24.583	-0.004	24.530	25.574		24.522	24.535	0.013
51+175	24.635	24.635	0.000	24.583	24.634	0.051	24.579	24.570	-0.009
51+200	24.728	24.735	0.007	24.682	25.905		24.681	24.684	0.003
51+225	24.926	24.937	0.011	24.885	24.934	0.049	24.862	24.880	0.018
51+250	25.194	25.257	0.063	25.164	25.252	0.088	25.142	25.189	0.047
51+275	25.554	25.626	0.072	25.530	25.611	0.081	25.506	25.573	0.067
51+300	26.043	26.111	0.068	26.019	26.133	0.114	25.988	26.071	0.083
51+325	26.655	26.724	0.069	26.631	26.722	0.091	26.580	26.636	0.056
51+350	27.313	27.376	0.063	27.282	27.354	0.072	27.240	27.316	0.076
51+375	28.057	28.133	0.076	28.013	28.124	0.111	27.993	28.045	0.052
51+400	28.872	28.928	0.056	28.818	28.848	0.030	28.810	28.813	0.003
51+425	29.677	29.680	0.003	29.615	29.605	-0.010	29.616	29.637	0.021
51+450	30.473	30.433	-0.040	30.412	30.381	-0.031	30.422	30.435	0.013
51+475	31.233	31.191	-0.042	31.171	31.147	-0.024	31.178	31.137	-0.041
51+500	31.952	31.922	-0.030	31.898	31.892	-0.006	31.902	31.865	-0.037
51+525	32.646	32.635	-0.011	32.589	32.597	0.008	32.596	32.583	-0.013
51+550	33.298	33.272	-0.026	33.242	33.232	-0.010	33.258	33.239	-0.019
51+575	33.920	33.927	0.007	33.862	33.897	0.035	33.883	33.896	0.013
51+600	34.509	34.477	-0.032	34.449	34.430	-0.019	34.463	34.425	-0.038
51+625	35.056	35.038	-0.018	34.991	34.999	0.008	35.001	34.968	-0.033
51+650	35.562	35.539	-0.023	35.502	35.534	0.032	35.504	35.454	-0.050
51+675	36.032	36.049	0.017	35.975	35.953	-0.022	35.974	35.948	-0.026
51+700	36.467	36.451	-0.016	36.409	36.435	0.026	36.413	36.421	0.008
51+725	36.876	36.871	-0.005	36.811	36.814	0.003	36.823	36.825	0.002
51+750	37.259	37.236	-0.023	37.198	37.193	-0.005	37.207	37.182	-0.025
51+775	37.596	37.571	-0.025	37.538	37.547	0.009	37.537	37.508	-0.029
51+800	37.890	37.839	-0.051	37.831	37.835	0.004	37.819	37.790	-0.029
51+825	38.139	38.134	-0.005	38.083	38.086	0.003	38.072	38.064	-0.008
51+850	38.368	38.385	0.017	38.310	38.371	0.061	38.294	38.327	0.033
51+875	38.572	38.557	-0.015	38.512	38.561	0.049	38.502	38.503	0.001
51+900	38.796	38.836	0.040	38.737	38.821	0.084	38.739	38.800	0.061
51+925	39.065	39.135	0.070	39.001	39.094	0.093	39.008	39.061	0.053
51+950	39.304	39.382	0.078	39.256	39.363	0.107	39.265	39.351	0.086
51+975	39.544	39.636	0.092	39.486	39.623	0.137	39.505	39.584	0.079
52+000	39.771	39.839	0.068	39.717	39.837	0.120	39.717	39.819	0.102
52+025	39.995	40.047	0.052	39.945	40.049	0.104	39.935	39.987	0.052
52+050	40.222	40.298	0.076	40.160	40.263	0.103	40.162	40.245	0.083
52+075	40.448	40.438	-0.010	40.377	40.436	0.059	40.397	40.416	0.019
52+100	40.682	40.673	-0.009	40.618	40.660	0.042	40.619	40.637	0.018
52+125	40.888	40.935	0.047	40.838	40.925	0.087	40.825	40.841	0.016
52+150	41.119	41.112	-0.007	41.067	41.089	0.022	41.058	41.046	-0.012
52+175	41.341	41.335	-0.006	41.283	41.319	0.036	41.284	41.280	-0.004
52+200	41.554	41.536	-0.018	41.498	41.518	0.020	41.504	41.513	0.009
52+225	41.787	41.737	-0.050	41.721	41.727	0.006	41.744	41.694	-0.050
52+250	42.030	42.000	-0.030	41.965	41.968	0.003	41.983	41.965	-0.018
52+275	42.323	42.329	0.006	42.257	42.259	0.002	42.277	42.265	-0.012
52+300	42.671	42.692	0.021	42.604	42.656	0.052	42.623	42.633	0.010
52+325	43.048	43.009	-0.039	42.989	43.063	0.074	42.983	42.956	-0.027
52+350	43.463	43.535	0.072	43.411	43.523	0.112	43.397	43.435	0.038
52+375	43.927	43.981	0.054	43.867	43.954	0.087	43.882	43.890	0.008
52+400	44.447	44.474	0.027	44.396	44.449	0.053	44.400	44.394	-0.006
52+425	45.013	45.036	0.023	44.961	45.021	0.060	44.968	44.968	0.000
52+450	45.556	45.550	-0.006	45.504	45.529	0.025	45.512	45.504	-0.008
52+475	46.069	46.042	-0.027	46.020	46.022	0.002	46.032	46.035	0.003
52+500	46.601	46.568	-0.033	46.557	46.540	-0.017	46.574	46.537	-0.037
52+525	47.146	47.114	-0.032	47.107	47.108	0.001	47.105	47.018	-0.087
52+550	47.675	47.634	-0.041	47.640	47.595	-0.045	47.627	47.559	-0.068
52+575	48.193	48.144	-0.049	48.152	48.140	-0.012	48.140	48.082	-0.058
52+600	48.651	48.594	-0.057	48.601	48.579	-0.022	48.605	48.542	-0.063
52+625	49.054	48.983	-0.071	49.007	48.980	-0.027	49.008	48.937	-0.071
52+650	49.399	49.377	-0.022	49.362	49.351	-0.011	49.355	49.306	-0.049
52+675	49.705	49.657	-0.048	49.658	49.659	0.001	49.645	49.630	-0.015
52+700	49.951	49.936	-0.015	49.903	49.916	0.013	49.888	49.865	-0.023

Instituto de Agrimensura - Facultad de Ingeniería - UDELAR

PLANILLA COMPARACION COTAS ALTIMETRICAS - 57+200 a 59+200									
PROM	0.001			0.011			0.002		
MIN	-0.427			-0.381			-0.390		
MAX	0.169			0.213			0.201		
DESVEST	0.123			0.124			0.125		
PK	EJE			Borde a +3.00			Borde a -3.00		
	Z CORONA	Z V07	d Z	Z CORONA	Z V07	d Z	Z CORONA	Z V07	d Z
57+200	37.075	36.648	-0.427	37.025	36.644	-0.381	37.033	36.643	-0.390
57+225	37.330	36.966	-0.364	37.286	36.943	-0.343	37.288	36.944	-0.344
57+250	37.508	37.149	-0.359	37.465	37.144	-0.321	37.471	37.144	-0.327
57+275	37.631	37.337	-0.294	37.580	37.326	-0.254	37.577	37.272	-0.305
57+300	37.625	37.343	-0.282	37.579	37.340	-0.239	37.575	37.306	-0.269
57+325	37.570	37.343	-0.227	37.517	37.304	-0.213	37.519	37.296	-0.223
57+350	37.415	37.243	-0.172	37.361	37.231	-0.130	37.367	37.199	-0.168
57+375	37.232	37.073	-0.159	37.183	37.049	-0.134	37.186	37.060	-0.126
57+400	36.962	36.844	-0.118	36.914	36.834	-0.080	36.908	36.789	-0.119
57+425	36.613	36.511	-0.102	36.571	36.482	-0.089	36.555	36.444	-0.111
57+450	36.203	36.104	-0.099	36.152	36.058	-0.094	36.155	36.048	-0.107
57+475	35.717	35.615	-0.102	35.663	35.596	-0.067	35.669	35.557	-0.112
57+500	35.139	35.045	-0.094	35.080	35.042	-0.038	35.102	34.992	-0.110
57+525	34.499	34.420	-0.079	34.449	34.384	-0.065	34.462	34.353	-0.109
57+550	33.788	33.738	-0.050	33.720	33.668	-0.052	33.740	33.627	-0.113
57+575	33.027	32.944	-0.083	32.960	32.910	-0.050	32.976	32.884	-0.092
57+600	32.260	32.205	-0.055	32.208	32.186	-0.022	32.222	32.149	-0.073
57+625	31.668	31.646	-0.022	31.613	31.599	-0.014	31.625	31.599	-0.026
57+650	31.175	31.146	-0.029	31.112	31.137	0.025	31.140	31.081	-0.059
57+675	30.862	30.851	-0.011	30.798	30.853	0.055	30.812	30.797	-0.015
57+700	30.676	30.649	-0.027	30.609	30.644	0.035	30.652	30.644	-0.008
57+725	30.674	30.743	0.069	30.614	30.656	0.042	30.644	30.743	0.099
57+750	30.809	30.843	0.034	30.768	30.785	0.017	30.774	30.842	0.068
57+775	31.139	31.211	0.072	31.098	31.170	0.072	31.103	31.179	0.076
57+800	31.636	31.700	0.064	31.577	31.656	0.079	31.602	31.743	0.141
57+825	32.299	32.344	0.045	32.243	32.327	0.084	32.256	32.324	0.068
57+850	33.027	33.090	0.063	32.975	33.063	0.088	32.980	33.067	0.087
57+875	33.744	33.846	0.102	33.688	33.787	0.099	33.700	33.790	0.090
57+900	34.409	34.450	0.041	34.354	34.425	0.071	34.366	34.377	0.011
57+925	34.974	35.047	0.073	34.923	35.024	0.101	34.906	35.011	0.105
57+950	35.424	35.554	0.130	35.387	35.600	0.213	35.357	35.472	0.115
57+975	35.904	36.044	0.140	35.866	36.045	0.179	35.847	36.038	0.191
58+000	36.298	36.443	0.145	36.254	36.406	0.152	36.242	36.443	0.201
58+025	36.616	36.743	0.127	36.575	36.714	0.139	36.565	36.678	0.113
58+050	36.863	36.961	0.098	36.814	36.943	0.129	36.825	36.945	0.120
58+075	37.026	37.143	0.117	36.969	37.137	0.168	36.991	37.105	0.114
58+100	37.114	37.226	0.112	37.060	37.187	0.127	37.067	37.177	0.110
58+125	37.134	37.243	0.109	37.086	37.237	0.151	37.076	37.173	0.097
58+150	37.074	37.243	0.169	37.022	37.166	0.144	37.014	37.151	0.137
58+175	36.933	37.045	0.112	36.875	37.003	0.128	36.881	37.043	0.162
58+200	36.708	36.780	0.072	36.636	36.740	0.104	36.660	36.780	0.120
58+225	36.398	36.470	0.072	36.325	36.404	0.079	36.356	36.445	0.089
58+250	36.005	36.122	0.117	35.942	36.011	0.069	35.957	36.056	0.099
58+275	35.548	35.642	0.094	35.485	35.571	0.086	35.496	35.572	0.076
58+300	35.013	35.144	0.131	34.945	35.066	0.121	34.962	35.057	0.095
58+325	34.437	34.520	0.083	34.375	34.473	0.098	34.395	34.523	0.128
58+350	33.936	33.970	0.034	33.886	33.997	0.111	33.910	33.952	0.042
58+375	33.589	33.644	0.055	33.555	33.629	0.074	33.565	33.597	0.032
58+400	33.458	33.543	0.085	33.437	33.493	0.056	33.422	33.479	0.057
58+425	33.525	33.584	0.059	33.482	33.629	0.147	33.487	33.543	0.056
58+450	33.676	33.744	0.068	33.630	33.742	0.112	33.631	33.742	0.111
58+475	33.985	34.048	0.063	33.941	34.050	0.109	33.930	34.042	0.112
58+500	34.404	34.464	0.060	34.363	34.472	0.109	34.367	34.444	0.077
58+525	35.036	35.124	0.088	34.992	35.087	0.095	34.992	35.048	0.056
58+550	35.708	35.773	0.065	35.653	35.717	0.064	35.666	35.705	0.039
58+575	36.299	36.344	0.045	36.236	36.301	0.065	36.255	36.314	0.059
58+600	36.837	36.906	0.069	36.775	36.837	0.062	36.786	36.849	0.063
58+625	37.310	37.343	0.033	37.247	37.295	0.048	37.260	37.292	0.032
58+650	37.714	37.745	0.031	37.640	37.682	0.042	37.658	37.698	0.040
58+675	38.043	38.043	0.000	37.972	37.984	0.012	37.981	38.048	0.067
58+700	38.295	38.312	0.017	38.228	38.270	0.042	38.233	38.247	0.014
58+725	38.465	38.534	0.069	38.406	38.401	-0.005	38.403	38.441	0.038
58+750	38.562	38.548	-0.014	38.529	38.522	-0.007	38.509	38.545	0.036
58+775	38.585	38.643	0.058	38.609	38.643	0.034	38.535	38.587	0.052
58+800	38.553	38.615	0.062	38.603	38.615	0.012	38.496	38.543	0.047
58+825	38.480	38.542	0.062	38.516	38.545	0.029	38.422	38.457	0.035
58+850	38.297	38.344	0.047	38.312	38.343	0.031	38.231	38.301	0.070
58+875	38.025	38.131	0.106	38.030	38.135	0.105	37.940	38.044	0.104
58+900	37.704	37.746	0.042	37.726	37.746	0.020	37.620	37.639	0.019
58+925	37.338	37.439	0.101	37.373	37.442	0.069	37.263	37.289	0.026
58+950	36.991	37.045	0.054	37.017	37.048	0.031	36.915	36.949	0.034
58+975	36.655	36.698	0.043	36.684	36.731	0.047	36.581	36.620	0.039
59+000	36.308	36.339	0.031	36.346	36.360	0.014	36.231	36.244	0.013
59+025	35.965	35.958	-0.007	35.997	35.959	-0.038	35.889	35.884	-0.005
59+050	35.601	35.586	-0.015	35.634	35.588	-0.046	35.534	35.489	-0.045
59+075	35.264	35.254	-0.010	35.296	35.243	-0.053	35.218	35.121	-0.097
59+100	34.988	34.916	-0.072	35.019	34.943	-0.076	34.952	34.881	-0.071
59+125	34.784	34.685	-0.099	34.829	34.730	-0.099	34.745	34.647	-0.098
59+150	34.675	34.569	-0.106	34.708	34.578	-0.130	34.617	34.526	-0.091
59+175	34.648	34.495	-0.153	34.677	34.513	-0.164	34.589	34.445	-0.144
59+200	34.711	34.554	-0.157	34.752	34.443	-0.309	34.657	34.485	-0.172

Instituto de Agrimensura - Facultad de Ingeniería - UDELAR

PLANILLA COMPARACION COTAS ALTIMETRICAS - 55+250 a 57+250										
PROM			-0.022						-0.019	
MIN			-0.187						-0.182	
MAX			0.196						0.140	
DESVEST			0.086						0.080	0.078
	EJE			Borde a +3.00			Borde a -3.00			
PK	Z CORONA	Z V10	d Z	Z CORONA	Z V10	d Z	Z CORONA	Z V10	d Z	
55+250	35.952	35.926	-0.026	35.989	35.979	-0.010	35.880	35.871	-0.009	
55+275	35.287	35.209	-0.078	35.343	35.279	-0.064	35.221	35.185	-0.036	
55+300	34.753	34.693	-0.060	34.817	34.742	-0.075	34.683	34.630	-0.053	
55+325	34.372	34.285	-0.087	34.421	34.289	-0.132	34.296	34.224	-0.072	
55+350	34.126	34.080	-0.046	34.170	34.110	-0.060	34.045	33.991	-0.054	
55+375	34.022	33.947	-0.075	34.073	33.982	-0.091	33.946	33.886	-0.060	
55+400	34.064	33.983	-0.081	34.090	33.983	-0.107	33.994	33.932	-0.062	
55+425	34.270	34.167	-0.103	34.251	34.145	-0.106	34.203	34.144	-0.059	
55+450	34.612	34.565	-0.047	34.561	34.515	-0.046	34.558	34.532	-0.026	
55+475	35.041	34.982	-0.059	34.983	34.977	-0.006	35.003	34.958	-0.045	
55+500	35.457	35.410	-0.047	35.391	35.383	-0.008	35.424	35.394	-0.030	
55+525	35.856	35.784	-0.072	35.789	35.779	-0.010	35.800	35.781	-0.019	
55+550	36.189	36.183	-0.006	36.133	36.113	-0.020	36.158	36.182	0.024	
55+575	36.457	36.389	-0.068	36.392	36.344	-0.048	36.432	36.383	-0.049	
55+600	36.666	36.648	-0.018	36.597	36.588	-0.009	36.639	36.654	0.015	
55+625	36.802	36.782	-0.020	36.736	36.715	-0.021	36.766	36.764	-0.002	
55+650	36.869	36.782	-0.087	36.814	36.782	-0.032	36.830	36.782	-0.048	
55+675	36.865	36.782	-0.083	36.814	36.782	-0.032	36.822	36.782	-0.040	
55+700	36.796	36.782	-0.014	36.740	36.750	0.010	36.747	36.771	0.024	
55+725	36.638	36.585	-0.053	36.584	36.563	-0.021	36.594	36.583	-0.011	
55+750	36.411	36.384	-0.027	36.367	36.337	-0.030	36.373	36.371	-0.002	
55+775	36.138	36.110	-0.028	36.082	36.066	-0.016	36.090	36.104	0.014	
55+800	35.789	35.785	-0.004	35.722	35.710	-0.012	35.739	35.761	0.022	
55+825	35.356	35.383	0.027	35.299	35.303	0.004	35.303	35.331	0.028	
55+850	34.849	34.899	0.050	34.794	34.837	0.043	34.796	34.883	0.087	
55+875	34.269	34.313	0.044	34.217	34.280	0.063	34.208	34.280	0.072	
55+900	33.639	33.682	0.043	33.589	33.656	0.067	33.582	33.659	0.077	
55+925	33.032	33.084	0.052	32.989	33.028	0.039	32.974	33.073	0.099	
55+950	32.579	32.603	0.024	32.527	32.584	0.057	32.527	32.582	0.055	
55+975	32.282	32.324	0.042	32.218	32.287	0.069	32.225	32.298	0.073	
56+000	32.105	32.182	0.077	32.040	32.116	0.076	32.060	32.147	0.087	
56+025	32.073	32.088	0.015	32.011	32.081	0.070	32.031	32.069	0.038	
56+050	32.204	32.192	-0.012	32.140	32.175	0.035	32.153	32.203	0.050	
56+075	32.474	32.489	0.015	32.415	32.451	0.036	32.428	32.482	0.054	
56+100	32.884	32.962	0.078	32.826	32.872	0.046	32.843	32.920	0.077	
56+125	33.425	33.474	0.049	33.374	33.422	0.048	33.385	33.437	0.052	
56+150	34.126	34.170	0.044	34.075	34.102	0.027	34.070	34.128	0.058	
56+175	34.928	35.002	0.074	34.858	34.924	0.066	34.862	34.964	0.102	
56+200	35.723	35.806	0.083	35.666	35.768	0.102	35.658	35.755	0.097	
56+225	36.482	36.594	0.112	36.423	36.541	0.118	36.474	36.590	0.116	
56+250	37.094	37.251	0.157	37.040	37.180	0.140	37.155	37.290	0.135	
56+275	37.604	37.768	0.164	37.547	37.686	0.139	37.669	37.800	0.131	
56+300	38.072	38.232	0.160	38.013	38.144	0.131	38.144	38.287	0.143	
56+325	38.484	38.680	0.196	38.435	38.566	0.131	38.557	38.700	0.143	
56+350	38.885	39.034	0.149	38.831	38.939	0.108	38.952	39.083	0.131	
56+375	39.216	39.294	0.078	39.156	39.218	0.062	39.258	39.331	0.073	
56+400	39.436	39.505	0.069	39.373	39.435	0.062	39.496	39.581	0.085	
56+425	39.556	39.649	0.093	39.500	39.571	0.071	39.603	39.682	0.079	
56+450	39.590	39.652	0.062	39.530	39.589	0.059	39.629	39.682	0.053	
56+475	39.524	39.579	0.055	39.483	39.514	0.031	39.571	39.584	0.013	
56+500	39.423	39.478	0.055	39.348	39.393	0.045	39.466	39.488	0.022	
56+525	39.224	39.265	0.041	39.154	39.187	0.033	39.274	39.286	0.012	
56+550	38.960	38.985	0.025	38.879	38.901	0.022	39.023	39.048	0.025	
56+575	38.592	38.591	-0.001	38.516	38.534	0.018	38.654	38.666	0.012	
56+600	38.154	38.135	-0.019	38.072	38.061	-0.011	38.212	38.185	-0.027	
56+625	37.665	37.618	-0.047	37.583	37.548	-0.035	37.714	37.683	-0.031	
56+650	37.049	36.995	-0.054	36.967	36.919	-0.048	37.113	37.069	-0.044	
56+675	36.358	36.299	-0.059	36.286	36.203	-0.083	36.420	36.382	-0.038	
56+700	35.598	35.520	-0.078	35.528	35.478	-0.050	35.656	35.578	-0.078	
56+725	34.772	34.673	-0.099	34.705	34.607	-0.098	34.830	34.739	-0.091	
56+750	33.960	33.858	-0.102	33.884	33.781	-0.103	34.029	33.936	-0.093	
56+775	33.222	33.115	-0.107	33.160	33.026	-0.134	33.298	33.174	-0.124	
56+800	32.633	32.524	-0.109	32.581	32.479	-0.102	32.712	32.604	-0.108	
56+825	32.185	32.065	-0.120	32.124	32.021	-0.103	32.180	32.164	-0.016	
56+850	31.866	31.782	-0.084	31.819	31.703	-0.116	31.827	31.760	-0.067	
56+875	31.678	31.582	-0.096	31.631	31.553	-0.078	31.645	31.582	-0.063	
56+900	31.605	31.482	-0.123	31.547	31.475	-0.072	31.561	31.482	-0.079	
56+925	31.659	31.582	-0.077	31.606	31.542	-0.064	31.624	31.549	-0.075	
56+950	31.938	31.783	-0.155	31.894	31.738	-0.156	31.900	31.759	-0.141	
56+975	32.254	32.085	-0.169	32.207	32.043	-0.164	32.212	32.045	-0.167	
57+000	32.744	32.557	-0.187	32.682	32.500	-0.182	32.692	32.529	-0.163	
57+025	33.350	33.200	-0.150	33.297	33.160	-0.137	33.298	33.171	-0.127	
57+050	34.045	33.890	-0.155	33.989	33.874	-0.115	33.991	33.853	-0.138	
57+075	34.724	34.584	-0.140	34.674	34.524	-0.150	34.668	34.542	-0.126	
57+100	35.339	35.211	-0.128	35.310	35.172	-0.138	35.297	35.184	-0.113	
57+125	35.903	35.768	-0.135	35.860	35.721	-0.139	35.851	35.733	-0.118	
57+150	36.374	36.270	-0.104	36.330	36.229	-0.101	36.339	36.242	-0.097	
57+175	36.776	36.687	-0.089	36.723	36.643	-0.080	36.730	36.683	-0.047	
57+200	37.075	36.989	-0.086	37.025	36.951	-0.074	37.033	36.983	-0.050	
57+225	37.330	37.281	-0.049	37.286	37.241	-0.045	37.288	37.283	-0.005	
57+250	37.508	37.480	-0.028	37.465	37.444	-0.021	37.471	37.459	-0.012	