

APLICACION DE LA FOTOGRAMETRIA TERRESTRE EN LOS
LEVANTAMIENTO DE ACCIDENTES DE TRANSITO

Angel Ernesto HERNANDEZ B.
Instituto de Fotogrametría
Facultad de Ingeniería, Universidad de Los Andes
Mérida, Venezuela

RESUMEN

Es particularmente destacable el éxito obtenido por la policía de carreteras, de algunos países, especialmente en Europa, de la aplicación de la Fotogrametría Terrestre como auxiliar en los levantamientos de accidentes de tránsito y otros sucesos policiales.

Mediante el método Fotogramétrico se ofrece la posibilidad de levantar el estado de cómo quedaron los elementos involucrados en el accidente ocurrido, en un tiempo más corto y con todos los detalles, para luego reconstruirlos y restituirlos mediante el ploteador fotogramétrico, con gran exactitud y veracidad aún después de varios años.

El hecho de que las circunstancias del suceso queden fijadas de una manera inequívoca en las fotografías y de que pueden ser reproducidas en todo momento, aún después de un tiempo, habla de un modo particular en favor del valor documental de los fotogramas.

En este trabajo se presenta el establecimiento de un sistema integrado, formado por los equipos de campo y Laboratorio, con el objeto de producir la información básica (mapa planimétrico) que será el documento de mayor valor técnico para la toma de decisión sobre las responsabilidades.

Se presentan algunas situaciones simuladas de accidentes de tránsito y sus levantamientos fotogramétricos.

ABSTRACT

Terrestrial photogrammetry applied to traffic accidents.
Terrestrial photogrammetry has been used in a great extent in some European Countries and specially applied to planimetric survey of traffic accidents and another police success.

A system developed by the photogrammetry Institute of Los Andes University is presented in which a survey and laboratory groups are integrated, with the main objective of producing the basic information (planimetric maps) that will be the technical documents needed by the judge at the court for setting responsibilities.

INTRODUCCION

La Fotogrametría Terrestre estudia todo el campo de la medición fotográfica en la cual la cámara se encuentra en contacto físico con el terreno. <1>, <2>.

Recientemente ha habido un resurgimiento de la Fotogrametría Terrestre, especialmente en las aplicaciones a la Fotogrametría Arquitectónica, así como el mapeo de sucesos de accidentes de tránsito y otras aplicaciones de interés para la Ingeniería y la Industria <3>.

La Fotogrametría Terrestre presenta algunas ventajas durante la toma de las fotografías y el establecimiento del control de campo. Así, es fácil determinar los elementos de la orientación exterior de la cámara, como también se puede escoger el tiempo de exposición a voluntad, esto ofrece la ventaja de usar películas de baja sensibilidad, con grano fino y por ende de gran resolución, también se ofrece la facilidad de usar película a color. La dificultad más grande se presenta para conseguir en el campo las estaciones de cámara más adecuadas, especialmente cuando se quiere hacer levantamientos fotogramétricos del terreno.

Las posibilidades de la fotogrametría a corta-distancia como un método para resolver un problema de medición depende de una serie de factores, tales como: costo, precisión, grado de efectividad y disponibilidad del sistema. En comparación con otras técnicas de medición, la fotogrametría a corta distancia tiene muchas ventajas, entre las cuales podemos enumerar:

1. El objeto se mantiene intocable durante la medición.
2. La adquisición de datos es rápida.
3. La fotografía es un medio de almacenar información, tanto métrica como semántica, de una gran densidad.
4. Las fotografías son documentos relacionados con el tiempo en el cual fueron tomadas y las mismas pueden ser usadas como evidencia legal.
5. Además de objetos rígidos y fijos también pueden ser medidos movimientos y deformaciones.

6. Pueden ser determinados parámetros que dependen del tiempo, tales como velocidad, aceleración y frecuencia.

7. Una evaluación de los elementos métricos de las fotografías puede ser hecha cuando se desee en la oficina, y evidentemente se pueden realizar correcciones.

8. El sistema es flexible y puede ser fácilmente optimizado a los requerimientos de cada proyecto, como por ejemplo, en precisión.

9. Se puede usar la parte invisible del espectro electromagnético para la creación de imágenes.

10. Se pueden medir fácilmente, cualquier forma o movimiento.

11. Con la estereoscopia tenemos un medio eficiente para hacer el trazado de curvas continuas en objetos irregulares.

12. El método analítico provee un medio de integración con facilidades de cálculo y manejo de datos.

Para hacer la fotogrametría más efectiva y mejor medio para nuevas aplicaciones, existen algunas desventajas las cuales hay que tener presente:

1. Los resultados de las mediciones no están inmediatamente en la mano, debido al tiempo necesario para el procesamiento de las fotografías y la evaluación de las mismas.

2. Excepto para los problemas sencillos, existe la necesidad de usar equipos especializados y caros, lo que hace el método costoso.

3. Los errores cometidos durante la toma de las fotografías o en el revelado arruinan todo el proceso de medición.

4. En todo caso, debe ser posible fotografiar el objeto.

5. Equipos y personal especializado son necesarios.

Se destaca, dentro de las aplicaciones de la Fotogrametría Terrestre, el éxito obtenido por la policía de carreteras en algunos países especialmente de Europa, <5>, <6>, aquí se ofrece la posibilidad de levantar el estado de cómo quedaron los elementos involucrados en el accidente ocurrido, en un tiempo más

corto y con todos los detalles, para luego reconstruirlos y restituirlos mediante el ploteador fotogramétrico, con gran exactitud y veracidad, aún después de varios años.

Las características más sobresalientes en esta aplicación son: se crea un sistema funcional, cámara - restituidor capaz de producir, con un mínimo de control, de tiempo de operación, y de recursos humanos una solución geoméricamente útil para describir el suceso y facilitar el establecimiento de las responsabilidades.

Normalmente se utiliza una cámara estereométrica con base de 120 cms., y el equipo de restitución es también adaptado para restituir las vistas tomadas con las respectivas cámaras. El control terrestre se sitúa a lo largo del eje de toma de vistas, midiéndose las distancias entre estas señales. La solución fotogramétrica es el caso normal de la estereofotogrametría, y el producto final es una planimetría de los elementos del suceso y de la escena. Las escalas utilizadas en la práctica varían según la extensión del accidente entre 1/50 a 1/250, excepcionalmente se utiliza la escala 1/500.

En algunos países (Ej. Argentina), de los datos obtenidos en el campo del levantamiento, se realiza un Informe Pericial el cual contiene, además de otros datos, el cálculo de la velocidad de los vehículos comprometidos en el accidente, para lo cual se aplica la ley general de la conservación de la energía, en la cual se establece una identidad entre la energía cinética de un vehículo y la energía friccionante producida por el bloqueo del sistema de frenos del otro vehículo chocado.

En países como Suiza y Alemania esta técnica se ha impuesto desde hace años <5> <6>. La incorruptibilidad del testimonio es de gran valor para la justa administración de la justicia. El hecho de que las circunstancias del suceso queden fijadas de una manera irrevocable y definitiva en el momento de la obtención de las fotografías y de que puedan ser reproducidas en todo momento, nos señalan las virtudes documentales de los fotogramas, más aún, ellos pueden examinarse por medio de estereoscopios de espejos y ser utilizados como elementos de demostración durante los juicios.

EQUIPOS FOTOGRAMETRICOS USADOS PARA EL LEVANTAMIENTO DE ACCIDENTES DE TRANSITO

Normalmente se forman dos grupos de trabajo, uno que se encuentra en la calle, haciendo la toma de las fotografías y el control de campo. Este equipo debe disponer de cámaras métricas, usualmente estereométricas, es decir un par de cámaras soportadas en una base, que los fabricantes han dispuesto de 120 cms., y de una focal fija, generalmente comprendida entre valores que van desde 50 mm. a 100 mm., que puede producir una imagen nítida con una profundidad de campo que abarca desde algunos metros hasta el infinito. Con la cámara estereométrica así creada se toman simultáneamente dos fotogramas de un mismo objeto. Para iluminar los lugares del accidente, en el caso de levantamientos nocturnos, se utilizan dispositivos de iluminación o también flashes electrónicos conectados a la cámara.

El equipo de campo puede disponer de un vehículo especialmente adaptado para el montaje de las cámaras, y la movilización de las mismas en el lugar del suceso, se completa el equipo mediante algunas señales que deben ser colocadas en el campo de vistas con miretas, cuya separación deben ser medidas con una cinta métrica; dos o tres distancias en total.

El otro grupo de trabajo, completamente independiente del primero, es el equipo de laboratorio, que tiene como tarea el revelado de las imágenes tomadas por el equipo de campo, la preparación de la hoja base de restitución, la orientación del modelo fotogramétrico, la restitución del mismo, y finalmente el dibujo en limpio del manuscrito, el cual servirá de basa para redactar el informe pericial que será entregado al juez que conocerá del suceso <5>, <6>.

Para la restitución del modelo fotogramétrico se debe disponer de un ploteador estereo, el cual para facilitar el proceso y hacerlo más estandarizado se encuentra integrado al sistema cámara restituidor, de una compatibilidad total; generalmente constituido para ese único fin y para satisfacer las condiciones de tomas de vistas normales.

SISTEMA INSTALADO POR EL INSTITUTO DE FOTOGAMETRIA

Desde el año 1979 el Instituto de Fotogrametría de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Los Andes, da inicio a un Proyecto para el establecimiento de sistemas operacionales que den soluciones efectivas a las diversas aplicaciones sobre levantamientos fotogramétricos terrestres. De esa manera hemos establecido procesos para el levantamiento de zonas inaccesibles, determinación de volúmenes de movimientos de tierra y planimetrías de fachadas de monumentos arquitectónicos.

Este nuevo sistema, para el levantamiento de accidentes de tránsito, sin ser el más recomendado, solo fué creado para mostrar los alcances del método fotogramétrico en el levantamiento planimétrico de la escena donde se sucede un accidente vial. Por su efectividad, como ya se estableció, es recomendado el uso de una cámara estereométrica con base de 1.2 m., acoplada a un aparato restituidor cuyas características técnicas hacen más fácil el trabajo del operador. En resumen, hemos adecuado un procedimiento a los equipos que disponemos en el Instituto.

EQUIPOS DISPONIBLES

En nuestro Instituto disponemos de una cámara métrica (Wild P-32) focalizada a 25 m. y con una profundidad de campo que va desde 5 m. hasta el infinito.

Para su operación la cámara P-32 puede ser montada sobre un teodolito Wild T-2, ello permite establecer el caso normal de la fotogrametría estereoscópica.

La cámara tiene un objetivo con distorsión menor a 4 μ , con apertura variable entre f/8 a f/22 y de distancia focal, aproximadamente 64 mm. El obturador ofrece tiempos de exposición entre 1 segundo y 1/500 segundos, así como facilidades para control manual (B). El formato de la imagen es de 60 mm x 80 mm.

El instrumento de restitución, que hemos acoplado para estos fines, es un viejo ZEISS Estereoplanígrafo C-8, instrumento del tipo Universal, capacitado en su construcción para el intercambio de los ejes Y por Z, esto permite hacer el levantamiento de los

detalles que se encuentran en la dirección del eje de toma de vistas (alejamiento), pero proyectados sobre un plano horizontal.

Las escalas máximas y mínimas de modelo admisibles por el instrumento de restricción es uno de los inconvenientes que deben ser estudiados, de acuerdo a los alcances que el instrumento pueda dar. La escala mínima del modelo se determina de la manera siguiente:

$$M_{\min} = \frac{Y_{\max.}}{Z_{\min.}} \quad \text{siendo:}$$

$M_{\min.}$ = denominador de la escala para la escala mínima del modelo

$Y_{\max.}$ = distancia de los puntos más alejados de la cámara

$Z_{\min.}$ = 170 mm

También existe una relación para la escala máxima del modelo ($M_{\max.}$).

$$M_{\max.} = \frac{Y_{\min.}}{Z_{\max.}} \quad \text{siendo:}$$

$Y_{\min.}$ = distancia de los puntos más cercanos a la cámara

$Z_{\max.}$ = 605 mm.

Otro parámetro importante de definir es el valor de la distancia principal que acepta el C-8, la cual no se acopla a la distancia focal de la cámara P-32, ello origina que mediante el proceso de ampliación por proyección hagamos compatible el sistema cámara-restituidor, ello se logra mediante la ampliación de 2,4 veces el tamaño del negativo original, resultando diapositivas de 144 x 192 mm para distancia principal de 153.60 mm; para esta ampliación se utiliza el proyector del Orto 3 proyecto de ZEISS, debido a que garantiza la conservación de todas las características geométricas de la imagen original.

PROCEDIMIENTO DE CAMPO

Comprende básicamente la toma de las fotografías y el establecimiento de las mediciones de control. El Instituto utiliza una cámara métrica simple, unida a un teodolito, que permite tomar las fotografías según el caso de la estereofotogrametría normal.

A este sistema van adiconados unas señales que terminan en su parte posterior en pequeñas miretas, las cuales son situadas en el campo de vista formando una figura triangular.

La distancia entre estas señales es medida con suficiente precisión, originando estas observaciones de campo el único control necesario para hacer el escalado del modelo fotogramétrico.

PROCEDIMIENTO DE LABORATORIO

Como se indicó, las fotografías son reveladas y ampliadas para hacerlas compatibles al C-8; posteriormente debemos orientar estas diapositivas siguiendo todos los criterios establecidos para orientar, interior y exteriormente el modelo fotogramétrico.

Previo a la restitución debemos calcular los puntos de control terrestre lo cual puede hacerse mediante el cálculo de trilateración, usando las distancias entre los puntos señalizados en la escena. Estos puntos forman la base para el escalado y orientación de las diferentes restituciones planimétricas.

El dibujo final debe contener, además de las trazas de los detalles que componen la escena, la ubicación de los vehículos, partículas de los mismo y marcas de frenado, indicaciones sobre el lugar del impacto, dirección en la que se desplazaba cada vehículo y la referencia de cada uno de ellos. En conclusión el levantamiento del lugar del accidente se verifica según los mismos criterios que se deben tomar en consideración para un levantamiento con cinta métrica, pero sin omitir detalle alguno, aún después, si se necesitan más medidas (indicadas por el tribunal) es siempre posible repetir y completar la restitución.

VENTAJAS DEL SISTEMA INSTALADO POR EL INSTITUTO

El uso de una sola cámara métrica, en lugar de una cámara estereométrica, da una mayor amplitud para establecer mejores relaciones de base/alejamiento, directamente relacionadas con la precisión de la determinación de los puntos a ser restituidos. En muchos casos estaríamos condicionando, en forma desfavorable, situaciones como: $1.20/20 = 1/17$ hasta $1.20/50 = 1/42$, que son casos muy frecuentes en el levantamiento de accidentes de tránsito y que no son, desde el punto de vista de la precisión, las condiciones más indicadas.

Otra ventaja que podemos indicar es la relativa a la ubicación de los puntos de control, usualmente colocados en la dirección de la toma de vistas, aquí se colocan señales formando un triángulo que evidentemente dan una geometría más adecuada al control, especialmente si se restituyen varios modelos de la situación. La medición en el campo no ofrece mayores inconvenientes, aunque sí el cálculo, para lo cual se prepara un pequeño programa con las fórmulas para determinar coordenadas de los puntos mediante el cálculo de una trilateración.

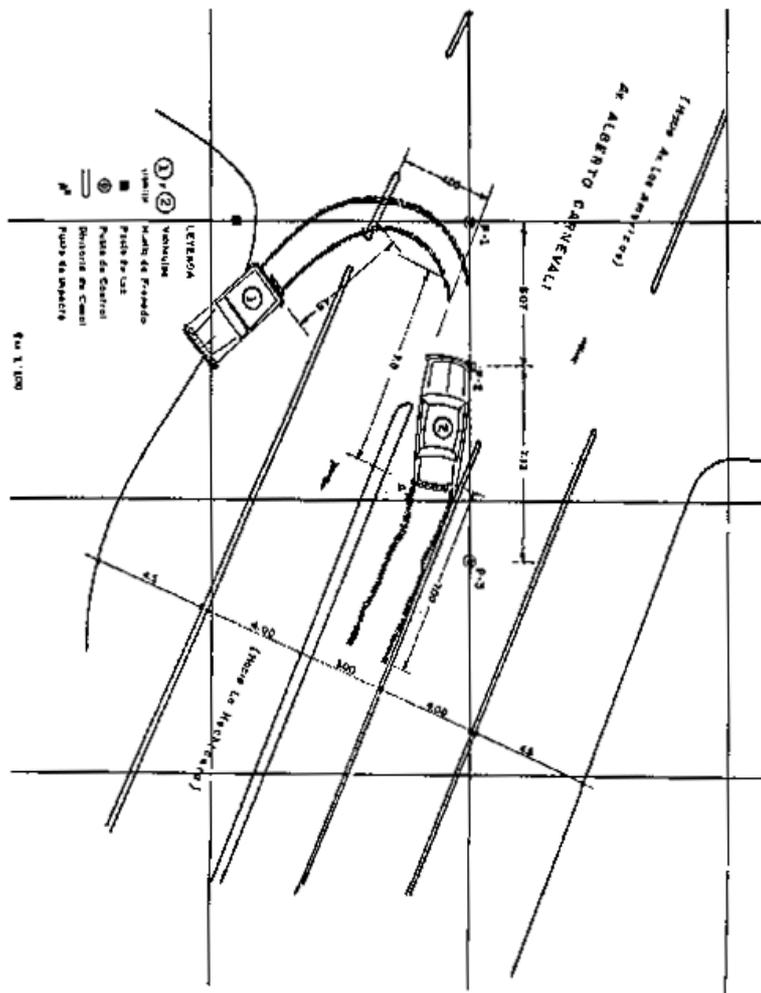
El sistema establecido cámara-teodolito con restituidor Universal puede ser utilizado para múltiples aplicaciones, por lo que la adecuación del conjunto nos ofrece una alternativa más de uso de este instrumental fotogramétrico.

EJEMPLOS DEMOSTRATIVOS

Se muestran a continuación algunos ejemplos que servirán para establecer el análisis y las conclusiones en este trabajo. Los dos ejemplos corresponden a simulaciones de accidentes de tránsito con diversas situaciones.

EJEMPLO N° 1

Se presenta la simulación del choque producido por dos vehículos. El N° 1 se encontraba estacionado en el canal de cruce y el N° 2 se desplazaba por ese canal a una velocidad que puede ser aproximadamente determinada mediante los datos suministrados por el levantamiento planimétrico del suceso. En el mismo plano



Ejemplo nº 1

se destacan todos los elementos y detalles de la escena del suceso.

VELOCIDAD DEL VEHICULO N° 2: La energía cinética del vehículo N° 2, debido a la velocidad, se transforma en energía potencial al desplazar el vehículo N° 1 a una distancia de 16 m., con sus ruedas traseras bloqueadas, más la energía de fricción al bloquear su sistema de frenos.

$$\text{Tenemos: } E_c = \frac{1}{2} m \cdot V^2 = \frac{P_2}{2g} \cdot V^2 \quad (1)$$

$$E_c = Ef_1 + Ef_2 = P_2 \cdot u \cdot d_2 + P_1 \cdot u \cdot d_1 \quad (2)$$

Siendo

E_c = energía Cinética del vehículo N° 2

g = 9.81 m/seg²

V = velocidad del vehículo N° 2 en el momento del impacto

P_2 = peso del vehículo N° 2 = 1200 Kg

P_1 = peso del vehículo N° 1, sobre las ruedas traseras
= 1200/2 = 600 Kg

u = coeficiente de fricción entre pavimento y neumático
= 0.8

Ef_1 = energía de fricción de cada vehículo

d_1 = 16 m.

d_2 = 7 m.

De la ecuación 2 se deduce:

$$\frac{P_2}{2g} \cdot V^2 = P_2 \cdot u \cdot d_2 + P_1 \cdot u \cdot d_1$$

$$V = \sqrt{\frac{2g}{P_2} (P_2 \cdot u \cdot d_2 + P_1 \cdot u \cdot d_1)} = 15.34 \text{ m/seg} = 55 \text{ Km/h}$$

La velocidad calculada corresponde a la mínima estimación de esa velocidad, ya que no fueron tomados en cuenta otros tipos de energía.

EJEMPLO N° 2

También se presenta un plano con el levantamiento de la escena producida por el choque de 3 vehículos.

Determinación de la velocidad de los vehículos:

Para el cálculo de la velocidad de los vehículos de referencia se utilizaron los datos que surgen de la inspección ocular en el lugar del hecho, ello son las huellas de frenado del vehículo indicado con el N° 1 en el plano de una longitud de 14 m.; y las huellas de las ruedas traseras del vehículo N° 2, de una longitud de 18 m., originadas por su desplazamiento al ser embestido por el vehículo N° 3. Este último parámetro será utilizado para el cálculo de la velocidad del vehículo N° 3. El vehículo N° 2 estaba estacionado en el lugar A., punto de impacto de 3 con 2. El punto B, es el lugar de impacto de 1 con 3.

VELOCIDAD DEL VEHICULO N° 3. La energía cinética del vehículo N° 3, debido a la velocidad, se traduce en energía de fricción al desplazar el vehículo N° 2 una distancia de 18 m., con sus ruedas traseras bloqueadas.

$$\text{Tenemos: } E_c = \frac{1}{2} m \cdot V^2 = \frac{P_3}{2g} \cdot V^2 \quad (1)$$

Siendo:

E_c = Energía Cinética del vehículo N° 3

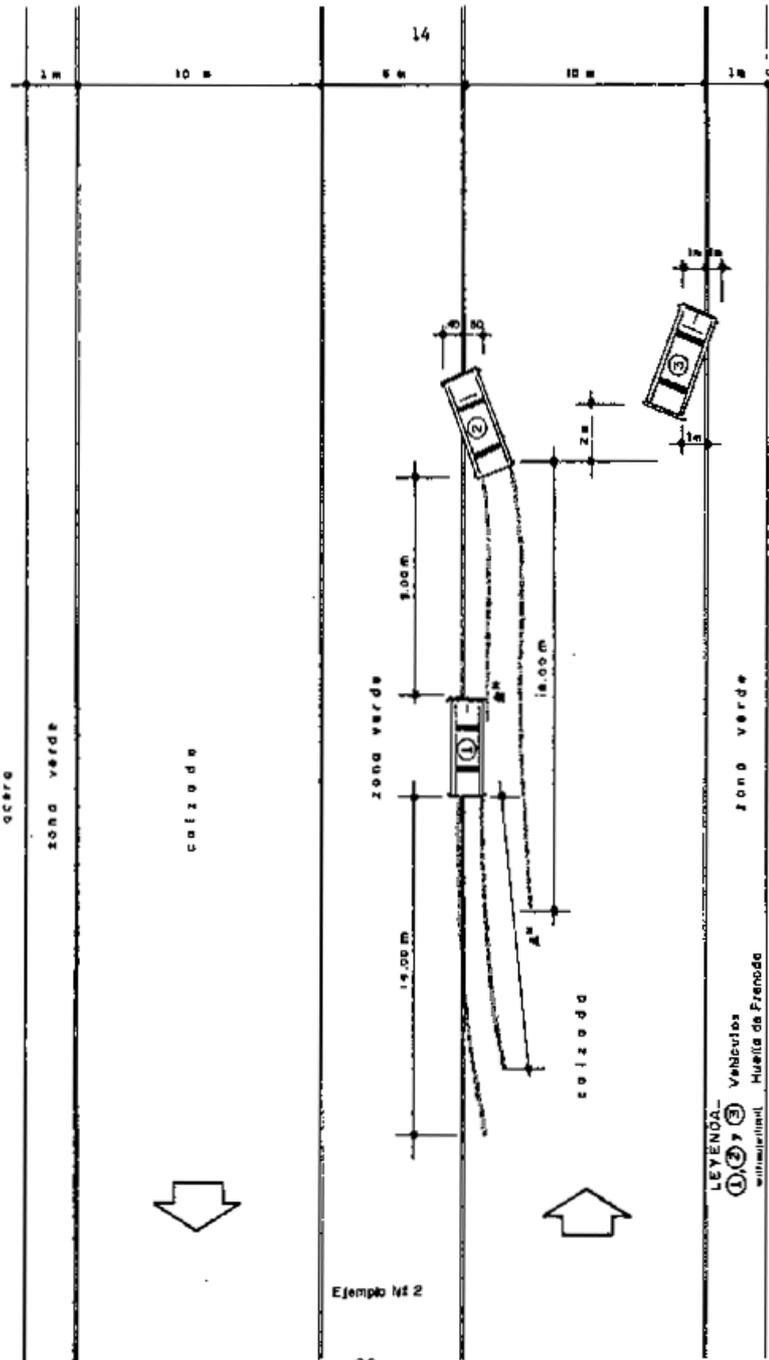
g = 9.81 m/seg²

V = Velocidad del vehículo N° 3, en el momento del impacto

P_3 = Peso del Vehículo N° 3 = 1500 Kg

$$\text{Si: } E_f = P_2 \cdot u \cdot d. \quad (2)$$

E_f = Energía de fricción al desplazarse el vehículo N° 2



u = Coeficiente de fricción entre pavimento y neumático
 = 0.8
 d = Distancia de desplazamiento = 18 m.
 P_2 = Peso del vehículo N° 2 sobre las ruedas traseras
 = 1100/2 = 550 Kg

igualando: (1) y (2) $\frac{P_3}{2.g} = v^2 = P_2.u.d. \dots v = \sqrt{\frac{P_2}{P_3} . 2.g.u.d}$

$v = 10.17 \text{ m/seg} = 36,64 \text{ km/h.}$

La velocidad calculada corresponde a la mínima ya que no se consideran otros tipos de energía.

VELOCIDAD DEL VEHICULO N° 1. Igualmente la ley de la conservación de la energía, se aplica para igualar la energía cinética con la energía friccionante al bloquear su sistema de frenos.

$E_c = \frac{P}{2.g} . v^2 \quad (3)$

P = peso del vehículo N° 3
 v = velocidad del vehículo en el instante de bloquear sus frenos

$E_f = p.u.d \quad (4)$

Igualando (3) y (4)

d = distancia de bloqueo de frenos = 14 m.

$v = \sqrt{2.g.u.d} = 14.82 \text{ m/s.} = 53.36 \text{ Km/h.}$

CONCLUSIONES

Las ventajas del método fotogramétrico en relación al procedimiento tradicional de levantamiento planimétrico mediante la cinta métrica, es el siguiente:

1. Para la fijación correcta de los vehículos involucrados en un accidente mediante la cinta métrica, es necesario realizar numerosas lecturas, lo que se puede traducir en errores de

lectura, audición, escritura y hasta falsificación de los datos. Estos errores son descartados definitivamente mediante el método fotogramétrico.

2. Si se hace necesario el levantamiento de algunos detalles involucrados en el accidente, como la longitud y sitio de frenado, fragmentos de los vehículos, postes de alumbrado y otros elementos de la escena, solo pueden levantarse con cinta, dando un resultado satisfactorio, si se pierde mucho tiempo e interrumpe la circulación del tráfico durante un tiempo excesivo. Para la fotogrametría no existe una situación complicada, basta que los elementos de la escena puedan ser fotografiados para que sean levantados, aún posteriormente y a solicitud del tribunal.

3. Mediciones posteriores para la ubicación de elementos involucrados en el accidente; así como montones de basura, rellenos de materiales, vallas en sitios en construcción, etc., que quieran ser ubicados e identificados en el lugar de la escena, solo se puede lograr esto por la observación estereoscópica de los pares de fotogramas mediante un estereoscopio de espejos.

4. Si se duda de la elaboración del levantamiento fotogramétrico, basta con acudir a alguna institución fotogramétrica imparcial y solicitar un informe pericial objetivo, basado en una repetición de la restitución. Esto no puede lograrse con los levantamientos hechos "in situ" mediante la cinta métrica.

5. Se debe destacar también, en favor del método fotogramétrico una economía en tiempo considerable y por ende un rápido despeje de la circulación del tráfico.

De la misma manera no cabe discusión de que el método fotogramétrico ofrece una solución más precisa y efectiva, que provee una mayor información tanto métrica como semántica.

REFERENCIAS

- <1> KARARA H.M.; Close - Range Photogrammetry: Where are we and where are we heading? - Photogrammetry Engineering and Remote Sensing, Vol 51 N° 5 p.p. 537-544 (1985)
- <2> ERLANDSON J.P., VERESS S.A.; Contemporary Problems in Terrestrial Photogrammetry - Photogrammetry Engineering and Remote Sensing p.p. 1079-1085 (1974)
- <3> A review of Close - Range Engineering Photogrammetry - Photogrammetry Engineering and Remote Sensing. Vol 42 N° 1, p.p. 57-69 January (1976)
- <4> KENNERT A., TORLEGARD I.; State-of-the-Art of Close-Range Photogrammetry - Photogrammetry Engineering and Remote Sensing Vol 42, N° 1 p.p. 71-79, January (1971)
- <5> HARDEGEN L.; El levantamiento fotogramétrico como auxiliar de la policía - Schweizerische Technische Zeitschrift (Traducido por Wild Heerbrugg) N° 4, (1974)
- <6> HEIDENHEIM D.B.; Documentación Fotogramétrica de Accidentes de Tráfico - Versión Española de un artículo publicado por Polizei Technik Verkehr, Wierbaden, Num. 5 (1963)
- <7> HERNANDEZ A.E.; La Fotogrametría: Texto para su estudio actual, Facultad de Ingeniería, Universidad de Los Andes (1981)
- <8> AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY, Manual of Photogrammetry (Four Edition)