MEDICIONES DE CAMPO

MÉTODO DE TRIANGULACIÓN RELEVAMIENTO DE CURVAS

Ing. Aníbal O. García – agarcia@perarg.com.ar

En las tareas de relevamiento de rastros en campo, tanto para siniestros viales, incendios, explosiones o derrumbes de estructuras, resulta fundamental contar con procedimientos más o menos sencillos de medición, que permitan hacer relevamientos de formas y distancias no necesariamente rectas, utilizando recursos tan sencillos como una cinta métrica, y precisos por el método científico de registro, que permita mediante cálculos ulteriores, realizados en la serenidad de un gabinete de estudio, obtener resultados confiables y preciso.

Ofrecemos aquí dos procedimientos de utilidad que responden a ese paradigma; el Método de Triangulación que permite relevar posiciones de distintos cuerpos separados entre sí y en posiciones no convencionales, y un conjunto de criterios para relevar curvas, aplicable tanto a determinar la curvatura de un objeto fijo, como la de una huella de neumático en derrape.

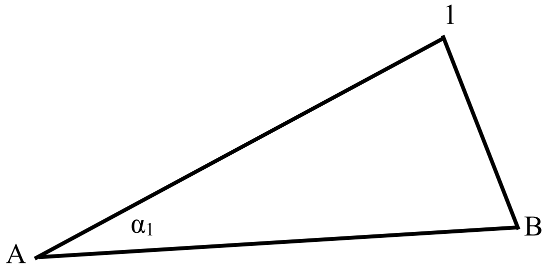
En ambos casos, la laboriosidad del cálculo posterior está salvada con planillas de cálculo organizadas para realizar los mismos en muy poco tiempo y con unas pocas acciones a cargo del operador: incorporar los datos e interpretar los resultados.

METODO DE TRIANGULACIÓN

El METODO DE TRIANGULACIÓN se basa en la propiedad de los triángulos, en donde tres elementos cualesquiera (longitud de los lados y/o ángulos) permite definir los tres lados y los tres ángulos.

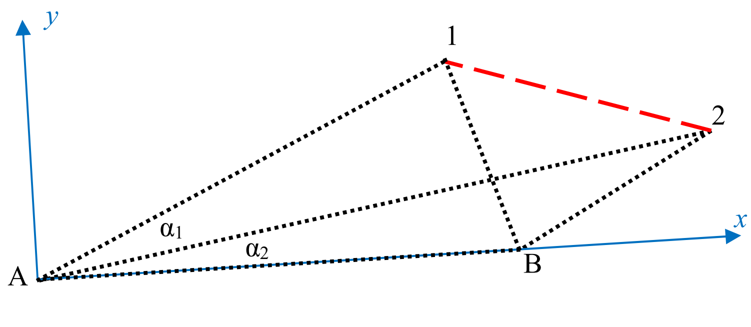
Una forma analítica de esta propiedad es el *Teorema del Coseno*. Este teorema expresa que el cuadrado de la longitud de un lado es igual a la suma del cuadrado de los otros dos lados, menos el doble producto de ellos por el coseno del ángulo opuesto al lado incógnito. Veamos un caso.

Sea el triángulo A1B, la fórmula del teorema se puede expresar como:



$$\cos a_1 = \frac{A1^2 + AB^2 - B1^2}{2 \cdot A1 \cdot AB}$$

Sean entonces A y B dos polos fijos, representados por elementos fijos de referencia (columnas, bordes verticales de edificios, etc.) y 1 y 2 los puntos que determinan el segmento de recta que se quiere ubicar en el plano, los dos triángulos formados permiten representar un sistema de ejes ortogonales de referencia, uno de cuyos ejes (x) coincide con la dirección AB, y el otro es normal en A (y).



En este sistema de coordenadas ortogonales cada punto queda definido por su coordenadas [x;y], cuyas relaciones son:

$$x_1 = A1 \cdot \cos\alpha_1 \quad y_1 = A1 \cdot seno\,\alpha_1 \qquad x_2 = A2 \cdot \cos\alpha_2 \quad y_2 = A2 \cdot seno\,\alpha_2$$

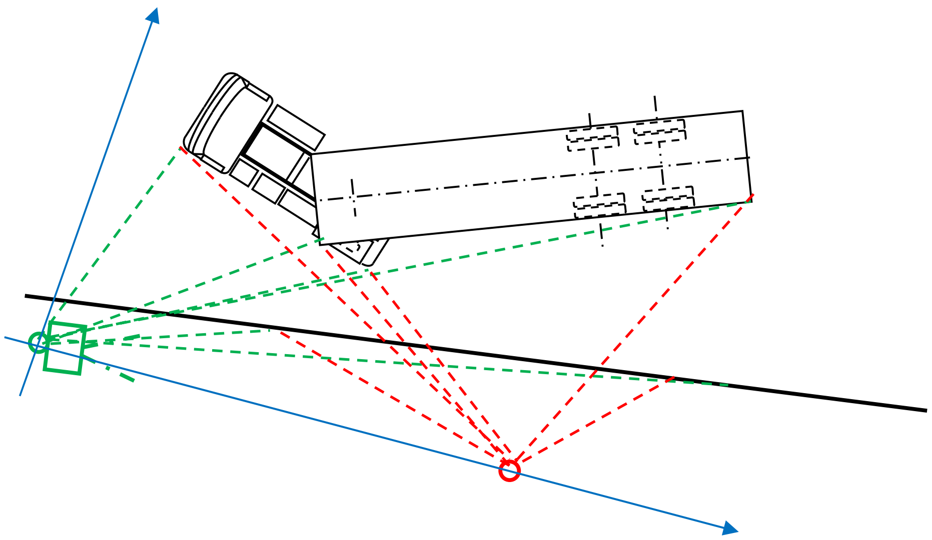
La longitud del segmento 12 será $L_{12} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$

y el ángulo del segmento 12 respecto al eje x, será $\gamma = arctg \dfrac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}$

Mediante este complejo de relaciones es posible ubicar un segmento en el plano en un sistema de coordenadas. Y así como se puede definir un segmento se puede definir la proyección vertical de un cuerpo sobre el plano del piso.

El sistema se resuelve en la planilla de cálculo *TRIANG.xls*. La misma solo requiere el ingreso de las dimensiones medidas y devuelve los resultados para un segmento de recta de dos puntos.

Tomemos como ejemplo ubicar el siguiente camión son semirremolque con respecto al borde de la vereda. Encontramos como puntos fijos de referencia la columna de un semáforo y una torre de conexión para bomberos



Para definir este sistema necesitaremos definir tres segmentos; uno que indique la dirección (el ángulo) de la vereda, un segundo segmento que nos defina la longitud del tractor y su dirección, y un tercero que identifique la posición del semirremolque; su longitud y su dirección. Luego componiendo los resultados de cada uno en un croquis a escala (en papel cuadriculado o en *auto cad*) podremos dibujar a escala la posición requerida.

En resumen, el METODO DE TRIANGULACIÓN permite ubicar un número *n* de puntos realizando (*2n + 1*) mediciones. La precisión del método mejora cuanto mayor es la longitud directa medida.

ATENCIÓN: Polos muy cercanos al objeto a medir hacen más imprecisos los resultados.

Y para usar la planilla *TRIANG.xls* sin errores, deberemos considerar que los puntos a medir estén del mismo lado del eje *X* definido por los dos polos de la medición.

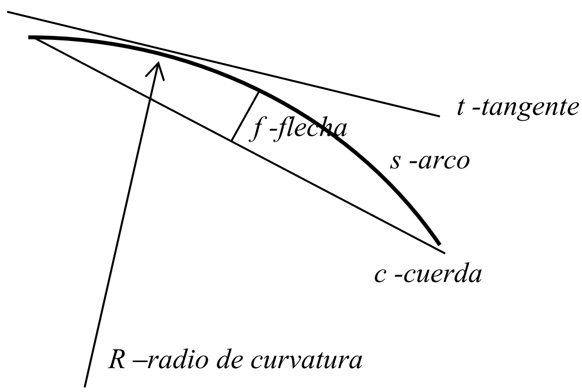
REPRESENTACIÓN Y MEDICIÓN DE CURVAS

El levantamiento de la traza de las curvas de la calzada, de los cordones de vereda y obstáculos geométricos, así como de huellas dejadas por vehículos, es una de las cuestiones más importantes en el estudio de las condiciones de un siniestro.

En este trabajo desarrollamos el tema de la medición de curvas desde dos puntos de vista:

> a.- la toma de datos en campo y la representación a escala en un gráfico de una determinada *línea curva*, para su uso en las operaciones de cálculo posteriores.
>
> b.- El cálculo de la curvatura y del radio de curvatura.

La toma de datos que reflejen la forma y dimensión de un línea curva en el campo puede realizarse utilizando el método de los ejes de coordenadas cartesianas u ortogonales. Con tomar las coordenadas x e y de una serie de puntos no muy alejados entre sí, se podrá representar una línea quebrada, formada por segmentos que constituyen la cuerda de los arcos de curvas respectivos. Antes de continuar definiremos algunas propiedades de un arco de curvatura.



Todo tramo de curva es un *arco* de longitud *s*, cuya *cuerda c* es el segmento de recta que une sus extremos, la *flecha f* es la máxima distancia de la cuerda al arco, y normalmente se encuentra en centro de la cuerda, normal a ella. En un punto determinado la curva tiene un *radio de curvatura R* que une el punto de la curva con el *centro de rotación O*; en ese punto de la curva la *tangente t* es normal o perpendicular al radio.

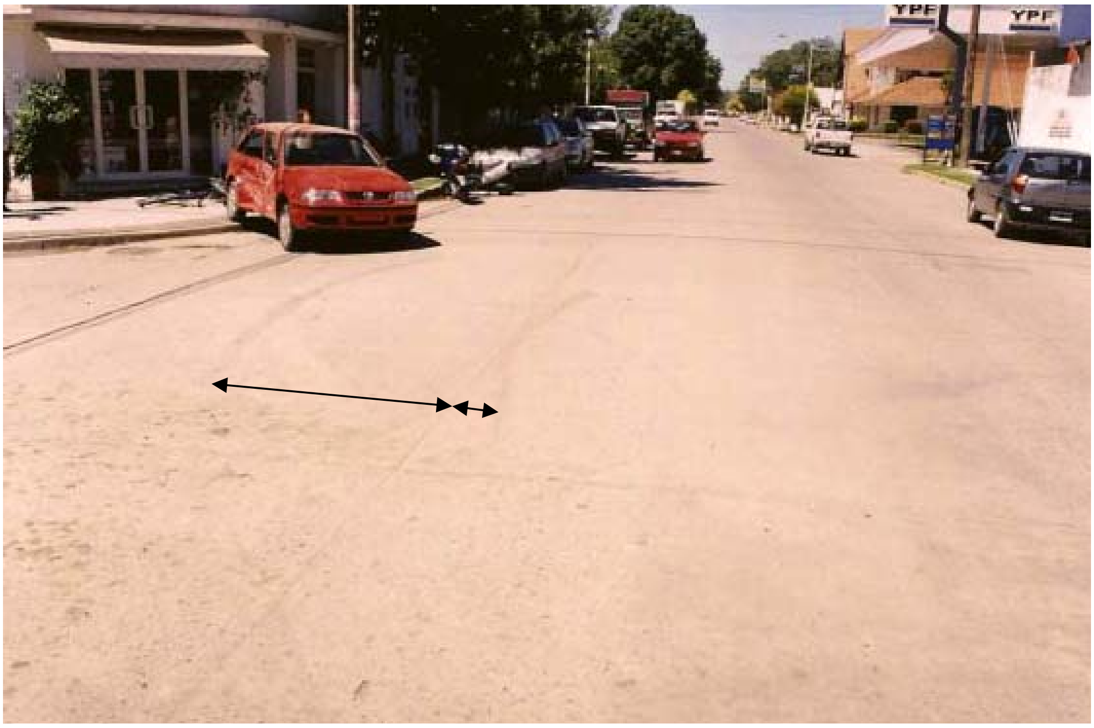
El arco de la curva de longitud *s* bate un *ángulo θ* formado por la posición de los radios en los puntos extremos del arco. Cuando el arco en cuestión es de radio R constante, pertenece a una circunferencia y de cumple que

$s = R \cdot \theta$ con el ángulo medido en radianes (1 grado = π/180 = 0,0175 radianes).

El relevamiento de la curva puede ser considerado como la medida de una serie continua de arcos, y cuanto más pequeña sea la longitud del mismo, más se aproximará a una circunferencia perfecta.

Estas condiciones deben tenerse en cuenta al realizar la medición. Para medir un arco de circunferencia no es necesario hacer muchas mediciones, pero en curvas alargadas, donde existe la sospecha de ser de radio variable, el mayor número de mediciones ayudará a la precisión de la medición.

Si el objeto de la medición es solo la representación, el método de coordenadas cartesianas puede ser suficiente. Para ello habrá que elegir aluna línea recta cercana a la curva (el borde de la vereda, una línea del hormigón del pavimento o de señalización horizontal) servirá de eje Y, y las distancias perpendiculares medidas desde él a la curva será la coordenada *x*.



En la fotografía de la página anterior, la junta del hormigón del pavimento es un excelente eje de referencia y permite medir las dos huellas de neumático a cierta distancia Y desde un cero de referencia.

Si se vuelcan los valores medidos en una planilla de cálculo se podrá por un lado graficar esa curva con cierta escala; y accesoriamente realizar cálculos acerca del cambio de dirección entre cada medición, y determinar el radio de curvatura.

Antes de entrar en estos detalles veamos la aplicación del MÉTODO DE TRIANGULACIÓN. También se pueden determinar en la curva una serie de puntos, razonablemente cercanos entre sí y determinar sus coordenadas, la longitud de la cuerda y el ángulo respecto al eje formado por ambos polos. Si los puntos fueron tomados próximos entre sí, de manera que la flecha en cada caso sea muy pequeña respecto de la cuerda, la longitud de la cuerda será muy próxima a la longitud del arco, y el error cometido será pequeño.

La planilla de cálculo *CURVAS.xl*s (libro *COORDENADAS*) permite cargar los datos de la medición -hasta 20 puntos-, y calcula el resto de los parámetros, presentando un diagrama de la curva y de la variación del radio de la misma.

Se pueden agregar o quitar puntos de medición con el simple recurso de usar las funciones *eliminar* o *copiar*.

DETERMINACIÓN DE LA CURVATURA Y DEL RADIO

Se define la curvatura *C* como la inversa del radio de curvatura *R* (no confundir *C* con el símbolo de la cuerda *c*). Como se ha visto el radio de curvatura guarda una relación entre el ángulo batido y la longitud del arco *s*. Ello permite plantear analíticamente

$$R = \frac{ds}{d\theta} = \frac{\Delta s}{\Delta \theta}$$

Como la tangente es perpendicular al radio en cualquier punto de la curva, el ángulo batido es igual a la diferencia del ángulo entre las tangentes en los extremos del arco. En base a esta propiedad el Dr. Ernesto Martínez desarrolló un método para determinar con precisión el radio de curvatura utilizando una brújula para medir la variación del ángulo en cada tramo[1].

En nuestro caso podemos hacer una buena aproximación considerando longitud del arco *s* a la longitud de la cuerda medida entre dos puntos cercanos, y el ángulo θ a la diferencia con el ángulo del tramo subsiguiente con el considerado. La fórmula a aplicar será entonces:

$$R_i = \frac{L_i}{\gamma_{i+1} - \gamma_i}$$

La planilla de cálculo *CURVAS.xl*s (libro *TRIANGULACIÓN*) permite cargar los datos de la medición -hasta 20 puntos-, y calcula el resto de los parámetros, presentando un diagrama de la curva y de la variación del radio de la misma.

[1] *Martínez, Ernesto* – **Medición Magnética de Curvas** (*mimeo*, 2005).

EL MÉTODO DE LA CUERDA

En curvas de pequeño radio constante como por ejemplo los bordes de las veredas en las bocacalles, la determinación del radio de curvatura es una relación entre la cuerda *c* y la flecha máxima *f*. De acuerdo a la geometría de la circunferencia, el radio estará dado por la ecuación:

$$R = \frac{c^2}{8f} + \frac{f}{2}$$

Esta ecuación no debe aplicarse en curvas de baja curvatura (y gran radio) en tramos muy extensos, debido entre otras cosas a que es muy probable que existan grandes variaciones del radio a lo largo de la misma. Sin embargo se puede utilizar para hacer verificaciones en tramos cortos de la misma, para verificar la exactitud de los cálculos realizados con los otros procedimientos.