

Trazado y Replanteo del Proyecto Horizontal de una carretera utilizando Estación Total.

Caso Práctico: Camino Vecinal La Chorera (KM: 0+000 – 2+187)

Walter Hurtares Orrala (1) Kleber Chilán Cárdenas (2) Iván Solórzano Cárdenas (3) Eduardo Santos Baquerizo (4)

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra ^{(1) (2) (3) (4)}

Escuela Superior Politécnica del Litoral ^{(1) (2) (3) (4)}

Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral

Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador

whurtare@espol.edu.ec ⁽¹⁾ achilan@espol.edu.ec ⁽²⁾ ivansolo@espol.edu.ec ⁽³⁾ esantos@espol.edu.ec ⁽⁴⁾

Resumen

Esta tesina trata acerca del Trazado y Replanteo en el terreno de un proyecto de carretera, haciendo uso de la Estación Total y de la gran tecnología que posee. Para un ejemplo práctico ha sido tomado un proyecto de carretera perteneciente al Consejo Provincial de Manabí, el camino vecinal La Chorera. Este trabajo menciona las fases que debe cumplir el proyecto. El trazado es la primera etapa después de su aprobación, y aquí se expone el uso de la Estación Total, para el replanteo de los vértices de la poligonal, en base a sus coordenadas Norte y Este. También se muestran los métodos de comprobación angular y lineal, que incluyen las observaciones solares, y el arrastre de coordenadas. Luego sigue el replanteo de las partes de la carretera tales como calzada, bermas, ancho de desbroce, taludes y cunetas. Se hace énfasis en el uso de la Estación Total para el replanteo de las curvas horizontales, por coordenadas. Finalmente se obtiene un presupuesto a partir de los análisis de precios unitarios realizados en este trabajo.

Palabras Claves: Estación Total, trazado, replanteo, coordenadas, observaciones solares.

Abstract

This thesis is about setting out and staking out of a highway project on the ground, using the Total Station and the great technology that it has. For real example it has been taken a “Consejo Provincial de Manabí” project, a local road La Chorera. This work mentions the steps what project must comply. Setting out is first step after the approval, and here it expose the use of the Total Station, for staking out of the polygonal corner points, based on their coordinates North and East. Also, shows the methods for angle and linear check, including sun observations and coordinates drag. Then follow staking out of highway parts as road, berms, clearing width, slopes, gutters. Emphasis the use of the Total Station for staking out of the horizontal curve by coordinates. Finally get a budget from the analysis of unit prices made in this work.

Keywords: Total Station, set out, stake out, coordinates, sun observations.

1. Introducción.

El objetivo principal dentro de este trabajo consiste en presentar un procedimiento adecuado para el replanteo de un proyecto horizontal con Estación Total, tomando como caso práctico el camino vecinal La Chorera. Por consiguiente explicar el manejo básico de la Estación Total y su aplicación para el trazado y replanteo de una carretera.

La Estación Total, permite replantear puntos en base a sus coordenadas cartográficas, además su alcance de medición es mayor que el de los equipos convencionales.

El camino vecinal La Chorera se encuentra ubicado en Chone-Manabí, y forma parte de la vía Canuto-La Chorera, este camino fue diseñado por el Consejo Provincial de Manabí, con el propósito de mejorar el tránsito vehicular en la parroquia Canuto cuyo sistema vial ha sido tan afectado por las lluvias de los inviernos anteriores.

2. Marco Teórico.

2.2. Trazado de una carretera.

El trazado consiste en la ubicación de la poligonal de diseño de la carretera en el terreno. Esto requiere que ubiquemos los puntos de intersecciones (PI) que son los vértices de la poligonal, utilizando sus coordenadas UTM.

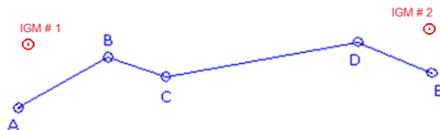


Figura 1. Trazado de una carretera.

2.3. Replanteo de una carretera.

Consiste en la demarcación en el terreno de las partes que componen una carretera, como: las curvas, bordes de calzada, bermas o espaldones y las cunetas.

2.4. Sistemas de referencias terrestres.

Para todos los casos el replanteo de una figura en el espacio necesita un punto de referencia y ejes de referencia. A estos sistemas se los denota con el nombre de DATUM. En geodesia un DATUM es un conjunto de puntos de referencia en la superficie terrestre en base a los cuales las medidas de la posición son tomadas. Consta de un

modelo matemático que representa la forma de la tierra como un cuerpo elipsoidal.

2.5. Sistemas de coordenadas geográficas.

Es un sistema de referencia, que utiliza las dos coordenadas angulares latitud y longitud, expresadas en grados sexagesimales, para determinar las posiciones de diversos puntos sobre la superficie terrestre.

La latitud es la distancia angular que existe entre un punto cualquiera y el Ecuador, medida sobre el meridiano que pasa por dicho punto.

La longitud mide el ángulo a lo largo del Ecuador desde cualquier punto de la Tierra. Los meridianos son círculos que pasan por los polos. Se acepta que el meridiano de Greenwich en Londres es la longitud 0.

2.6. Sistemas de coordenadas Universal Transversa de Mercator (UTM).

El Sistema UTM es un sistema de coordenadas basado en la proyección cartográfica transversa de Mercator; las magnitudes en el sistema UTM se expresan en metros únicamente al nivel del mar.



Figura 2. Cuadrículas UTM.

2.8. Diseño geométrico.

2.8.1. Diseño horizontal. Especifica información acerca de la planimetría, como del eje de la carretera, curvas horizontales, sobreancho, etc.

El eje de la carretera se detalla en la vista en planta del proyecto horizontal que se encuentra en los planos. Este eje está compuesto por alineamientos horizontales rectos, enlazados por alineamientos horizontales curvos. Este eje, se encuentra seccionado partiendo del punto inicial de carretera (Po) cada 20 metros o menos hasta llegar al punto final de carretera (PF).

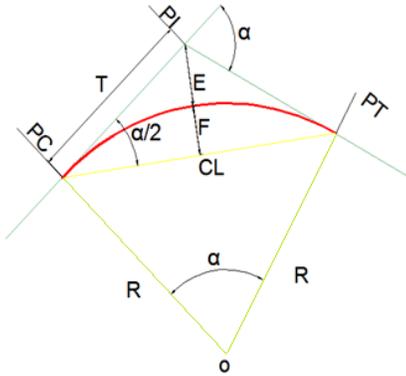


Figura 3. Curva horizontal circular.

La curva circular simple, es la que prevalece en el diseño de este proyecto. Sus elementos obedecen a la geometría y a la trigonometría de un arco de curva, sostenido por una cuerda que se proyecta entre un mismo radio.

En las carreteras, los vehículos que transitan en ella e ingresan a una curva se exponen a la invasión de carriles por parte de los vehículos que viajan en dirección opuesta, usualmente los pesados, por motivo de sus mayores dimensiones.

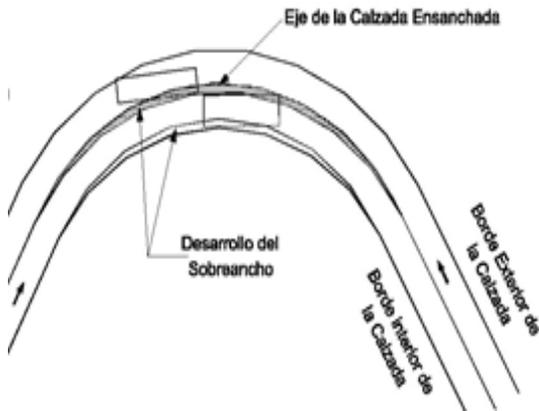


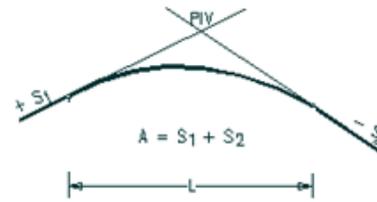
Figura 4. Sobreebanco en curvas.

2.8.1. Diseño vertical. Especifica información relacionada a la altimetría, como el perfil longitudinal, curvas verticales, el peralte, etc.

En el perfil longitudinal se detallan los alineamientos verticales, su gradiente longitudinal así como las curvas verticales con sus parámetros más importantes y cotas respectivas. Se denota la línea roja que representa el perfil del terreno natural sobre el que se construirá el proyecto que a su vez será denotado con la línea negra.

Al unirse dos alineamientos verticales generan las conocidas curvas verticales que pueden ser cóncavas o convexas. Para el diseño de una curva

vertical se debe tener en cuenta, si es cóncava o convexa, porque cada una de ellas obedece a un cálculo distinto.



S_1 = Pendiente de entrada

S_2 = Pendiente de salida

Figura 5. Curva vertical parabólica.

Cuando los vehículos atraviesan las curvas horizontales, estos experimentan una fuerza centrífuga que tiende a sacarlo de la carretera; este problema se lo ha solucionado dándole una inclinación adecuada a la calzada llamada peralte de tal forma que la componente de su peso que es paralela a la calzada contrarreste el efecto de la fuerza centrífuga.

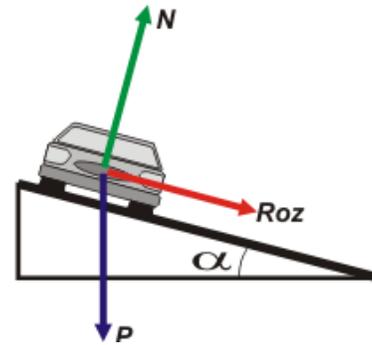


Figura 6. Peralte en Curvas.

2.9. Sección típica.

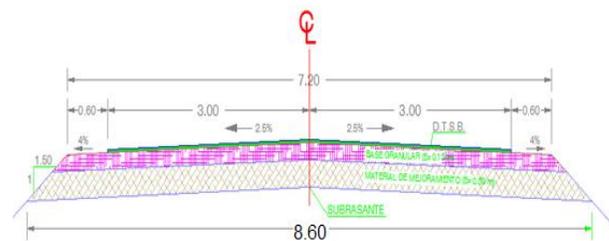


Figura 7. Peralte en Curvas.

3. Equipos, herramientas, y personal para el trazado y replanteo con Estación Total.

3.1. Estación Total.

Es un aparato electro-óptico utilizado en la topografía, y considerado en este trabajo como el principal. Consiste en la incorporación de un distanciómetro y un microprocesador a un teodolito electrónico.

Algunas de las características que incorpora y con las cuales no cuentan los teodolitos, son una pantalla alfanumérica de cristal líquido (LCD), presentación de avisos, iluminación independiente de la luz solar, calculadora, distanciómetro, y memoria de almacenamiento de datos, lo cual permite utilizarla posteriormente en computadores personales.



Figura 8. Estación Total SOKKIA Set 630.

La precisión de las medidas angulares esta en el orden de las milésimas de grados y de milímetros en distancias, pudiendo realizar medidas en puntos situados entre 2 y 5 kilómetros según el aparato y la cantidad de prismas usados.

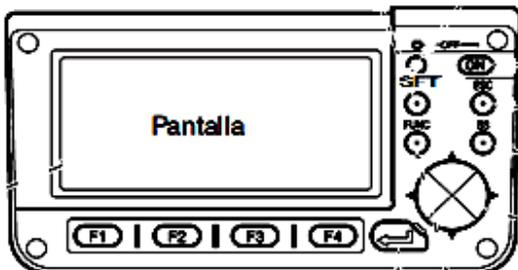


Figura 9. Panel de control de la Estación Total.

3.2. Utensilios y herramientas topográficas.

Las herramientas son tan importantes como el instrumento principal, en este caso la Estación Total. Sin ellas el personal topográfico no se puede realizar.



Figura 10. Trípode, bastón y prisma.



Figura 11. Cinta métrica y flexómetro.



Figura 12. Estacas, combos, martillos y clavos.

3.3. Personal de trabajo.

El Ingeniero residente se va a hacer cargo del trazado del eje de la vía, y posteriormente el replanteo del proyecto horizontal. Es responsabilidad de él, llevar a cabo los trabajos con la calidad, tiempo y costos considerados. Lleva la programación y el control de actividades, coordina al personal directo de la Obra.



Figura 13. Residente de Obra.

El topógrafo es la persona que opera los equipos topográficos y se hace cargo de su mantenimiento. Sigue órdenes del residente de obra.



Figura 14. Topógrafo.

Los cadeneros son ayudantes exclusivos del Topógrafo. Llevan el prisma y bastón de un lugar a otro para situarlos en los puntos que considere el topógrafo. Los macheteros son los encargados de la abrir la trocha, para el paso del personal topográfico, y mejorar visión del topógrafo. Hacen a un lado, árboles, arbustos, maleza, y animales.



Figura 14. Machetero.

4. Trazado de la poligonal de diseño.

4.1. Reconocimiento y ubicación de los puntos de inicio y fin de la carretera.

Estos puntos están consignados en los planos. Generalmente se ubican dos puntos de referencia a corta distancia del punto que se va a replantear.

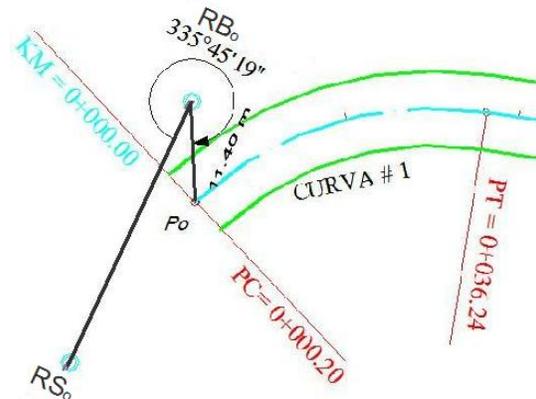


Figura 13. Replanteo del Po.

4.2. Trazado de la poligonal de diseño por coordenadas.

Punto	Coordenadas			
	X (m)		Y (m)	
Po	E	602726.29	N	9907403.75
PI1	E	602740.748	N	9907390.893
PI2	E	602731.317	N	9907225.267
PI3	E	602812.043	N	9907149.081
PI4	E	602845.589	N	9907096.264
PI5	E	602803.622	N	9907032.721
PI6	E	602831.452	N	9906973.754
PI7	E	602926.238	N	9906882.103
PI8	E	603015.035	N	9906857.224
PI9	E	9906799.06	N	9906799.061
PI10	E	603113.173	N	9906743.724
PI11	E	603149.204	N	9906682.461
PI12	E	603220.576	N	9906648.734
PI13	E	603274.682	N	9906604.17
PI14	E	603354.282	N	9906562.638
PI15	E	603416.102	N	9906563.028
PI16	E	603695.636	N	9906527.952
PI17	E	603792.362	N	9906494.493
PI18	E	604039.886	N	9906427.248
PI19	E	604157.784	N	9906460.523
PI20	E	604205.188	N	9906407.039
Pf	E	604304.9	N	9906312.822

Tabla 1. Coordenadas de PI.

4.2.1. Manejo y programación del sistema operativo de la Estación Total SOKKIA Set 630. Se muestra un resumen de las teclas y funciones que brinda el equipo.

Función { MEAS }, comienza la medición de distancia y detiene la medición de distancia.

Función { COORD }: Desde esta función se puede medir coordenadas de forma manual, incluso se puede orientar la estación desde aquí.

Tecla { FUNC }: Pasa de una página de pantalla a otra en el modo MEAS. Pasa a la página siguiente de tecla de función (para buscar la letra o la cifra que se desea introducir).

Tecla { ESC }: Se presiona { ESC } cuando se desea retroceder o salir dentro de los menús.

Tecla back-space { BS }: se presiona para borrar de izquierda a derecha los caracteres cuando se desean modificar.

Función { OBS } : La Estación Total realiza una observación, mediante un disparo de rayo láser que rebota en el cristal del prisma, y regresa.

Función { READ } : Permite leer los datos almacenados en la memoria de la Estación Total, mostrando un listado en la pantalla.

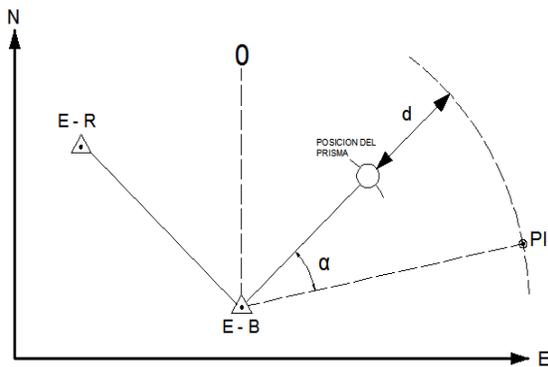


Figura 14. Esquema usado para el replanteo.

Los Puntos Auxiliares (P Aux), son hitos que el topógrafo coloca en el campo, donde cree conveniente, para así trasladar la Estación Total, con el objetivo de tener una mejor visualización de los puntos a replantear, como por ejemplo en zonas elevadas.

Punto	Coordenadas			
		X (m)		Y (m)
P Aux 1	E	602789.146	N	9907188.22
P Aux 2	E	602965.118	N	9906860.6
P Aux 3	E	603284.488	N	9906587.89
P Aux 4	E	603766.02	N	9906492.82
P Aux 5	E	604268.887	N	9906365.59

Tabla 2. Coordenadas de los puntos auxiliares.

4.3. Comprobación y ajuste.

4.3.1. Comprobación Angular. Ofrecen información acerca del acimut del sol en una fecha y hora determinada mediante observaciones solares. Los datos necesarios para realizarlas son:

1. El lugar donde se realiza la observación.
2. La fecha y hora de observación considerando la hora proporcionada por el Instituto Oceanográfico de la Armada - INOCAR.
3. El nombre o nomenclatura del punto geográfico desde donde se la realiza (primer punto del alineamiento).
4. El nombre o nomenclatura del punto geográfico que se utiliza para alinear el primer punto (segundo punto o señal).
5. El instrumento de medición utilizado. (Estación Total SOKKIA Set 630).
6. La temperatura en el instante de las observaciones.
7. La presión atmosférica (tomada por un barómetro), o la altura sobre el nivel del mar, tomada de una carta geográfica del IGM.
8. La latitud en la cual se encuentra la estación o hito. La cual puede ser tomada directamente de una carta geográfica, o bien, determinada con el Sol en el transcurso de la observación misma, u obtenida a través de la utilización del Sistema de Posicionamiento Global.

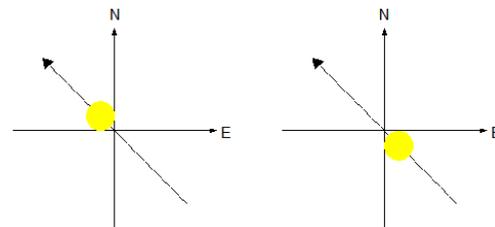


Figura 14. Vista directa e inversa del Sol (AM).

OBSERVACION SOLAR						
DATOS DE CAMPO						
LUGAR:	La Chorera - Canuto	FECHA:	25-sep-10			
ESTACION:	Po 0+000	SEÑAL:	PI # 1			
INSTRUMENTO:	Sokkia Set 630	TEMPERATURA:	23 °			
ELEVACION:	282 m	LATITUD ϕ :	0° 50' 15" S			
SERIE	PUNTO	POSICION	HORA	ANGULO HORIZONTAL	ANGULO VERTICAL	
1	SEÑAL	D		0°00'00"		
	q	D	8h 24' 04"	319°8'20"	67°45'23"	
			8h 24' 27"	319°8'10"	67°45'2"	
			8h 25' 14"	319°8'2"	67°44'43"	
	b	I	8h 25' 23"	139°7'51"	292°15'36"	
			8h 25' 35"	139°7'43"	292°15'55"	
			8h 25' 42"	139°7'35"	292°16'9"	
	SEÑAL	I		180°00'00"		
	PROMEDIO			8h 25' 4"	319°7'57"	67°44'35"

Tabla 2. Coordenadas de los puntos auxiliares.

Sea Z_0 , el promedio de los ángulos leídos, se halla un valor Z corregido por refracción y paralaje, aplicando la siguiente expresión $Z = Z_0 + R - P$. Donde R es la corrección por refracción y P es la corrección por paralaje. Estos datos se obtienen por la interpolación, basadas en los valores de las tablas adjuntas.

De la libreta de observación se toma el promedio de las horas. Se debe obtener la hora en GMT (Greenwich Meridian Time), correspondiente al instante de la observación. Para el Ecuador es de 5 horas retrasadas, por lo tanto se debe sumar estas horas al tiempo local.

Se procede a utilizar la efeméride o almanaque solar que para esta tesina es del año de 1993. Se debe corregir la hora GMT, para que coincida con el instante del almanaque usando la siguiente fórmula:

$$C \text{ (en horas)} = 24 N - 5.813 n$$

De la efeméride solar (Anexo 4) anotamos la declinación del sol:

25-sep		0°46.4'
26-sep		1°9.7'

Se obtiene que la declinación del sol es : 0°56'41" Sur

$$\text{Sen } \frac{1}{2} U = \sqrt{\frac{\text{Sen}(s - Zv) * \text{Sen}(s - c)}{\text{Sen } Zv * \text{Sen } C}}$$

Usando esta fórmula obtenemos el valor de $U = 90°40'45''$

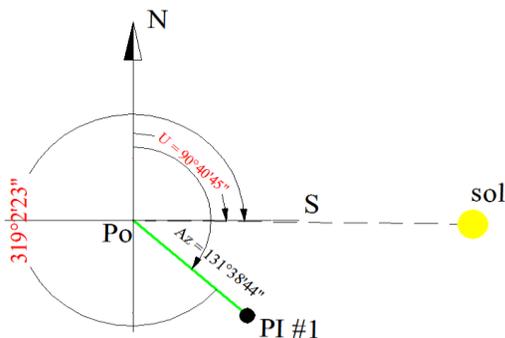


Figura 14. Angulos q intervienen en el cálculo.

Para la determinación del azimut geográfico de los alineamientos de la poligonal de diseño, se utiliza también un GPS estacionario o de alta precisión. Este equipo se comunica con los satélites que orbitan alrededor de la Tierra. Obtenidos los azimuts en P_0 y P_1 procedemos a la comprobación de los azimuts de todos los alineamientos que componen la poligonal de diseño.

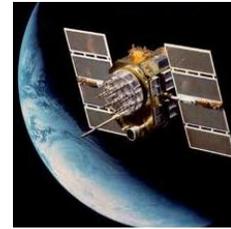


Figura 14. Satélite y Georeferenciador GNSS.

En primer lugar se debe realizar un levantamiento planimétrico de los PI replanteados en el terreno. Obteniendo así los ángulos horarios. El procedimiento consiste en el traslado del azimut verdadero de P_0 a PI_1 , de PI_1 a PI_2 , de PI_2 a PI_3 y así sucesivamente. Se utiliza los ángulos horarios medidos en el levantamiento y se calcula el azimut por la regla de ángulos complementarios.

4.3.2. Comprobación Lineal. Obtenidos los azimuts verdaderos de cada uno de los alineamientos, se utiliza esta información para verificar las coordenadas UTM para cada PI, mediante su arrastre desde un hito del IGM con coordenadas UTM conocidas (datos proporcionados por el IGM), a una referencia.

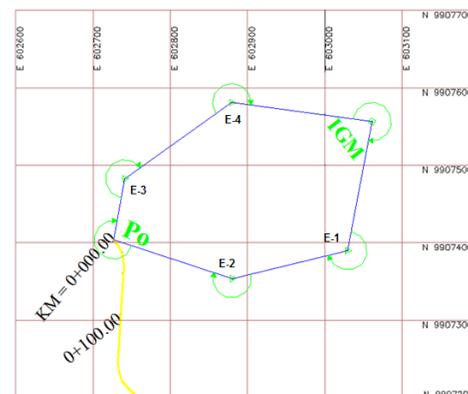


Figura 14. Arrastre de coordenadas IGM#1- P_0 .

Después del arrastre de coordenadas desde hitos del IGM hasta los puntos Po y PF, se procede al arrastre de coordenadas desde el Po hacia todos los puntos q conforman la poligonal de diseño, para al final comparar con las coordenadas del PF obtenidas anteriormente.

5. Replanteo del proyecto horizontal.

5.1. Referencias.

Una vez replanteada y comprobada la poligonal de diseño, el siguiente paso es la colocación de referencias en los PI. De la misma forma, después de replantear los PC y los PT, también se colocan referencias.

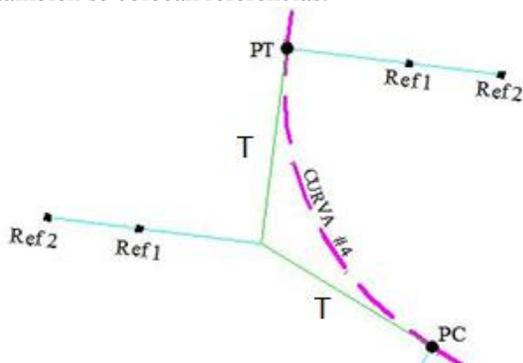


Figura 14. Referencias de Pc, Pt, PI.

Dichos puntos se los puede replantear mediante la extrapolación o interpolación entre dos referencias, utilizando una cinta métrica para dar la medida correspondiente.

5.2. Replanteo de curvas horizontales.

Mientras un grupo del personal topográfico avanza con el replanteo de los PC, PT y PI, otro grupo va replanteando las curvas horizontales.

La libreta de replanteo de curvas por el método ángulo de deflexión – distancia, se ha usado por mucho tiempo y ejecutada en campo con la ayuda de un teodolito electrónico. En esta libreta las distancias parciales son arcos de circunferencias y los ángulos horizontales parciales no son otra cosa que ángulos de deflexión parciales.

Estos ángulos se los calcula multiplicando la longitud de cada arco por una constante angular “ $\Delta\alpha$ ”, que se la obtiene al dividir la mitad del ángulo de deflexión principal “ α ” de una curva para la longitud de aquella curva.
$$\Delta\alpha = \frac{\alpha/2}{L_c}$$

Sin embargo, esta libreta se expone a errores considerables, debido a las distancias redondas

que son arcos de circunferencia imposibles de medir, por medio de la cinta que representaría una cuerda.

Por este motivo se debe ajustar una y otra vez hasta que coincidan los puntos finales e iniciales.

La curva resulta más fácil de replantear, si convertimos estas coordenadas polares de la libreta anterior a coordenadas cartesianas, al ingresarlas en la memoria de la Estación Total, vuelve el replanteo un trabajo más preciso, fácil y rápido.

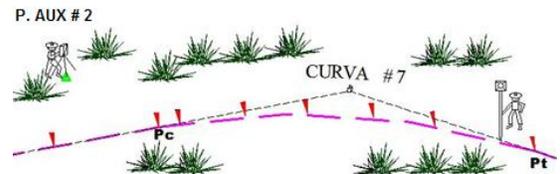


Figura 14. Replanteo de curva por coordenadas.

5.3. Replanteo de calzada y corona.

Teniendo el abscisado del eje listo se procede a demarcar la calzada y la corona de la carretera.

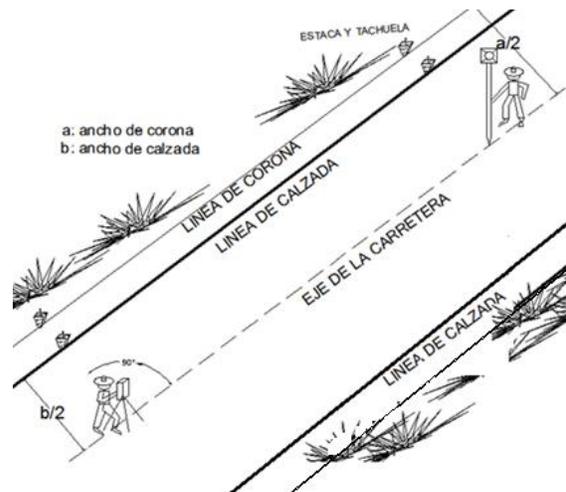


Figura 14. Replanteo de calzada y corona.

Los bordes de corona serán líneas paralelas a los bordes la calzada y su replanteo sigue el mismo procedimiento aplicado a la calzada.

5.4. Presupuesto.

El presupuesto del trazado y replanteo del camino vecinal La Chorera asciende a la suma de :
\$ 7062.49

6. Conclusiones y Recomendaciones.

6.1. Conclusiones.

Esta tesina garantiza un correcto Trazado y Replanteo del Proyecto Horizontal de la vía La Chorera, presentando un proceso esquemático y programado.

Este proceso se detalla minuciosamente de principio a fin, partiendo desde la necesidad del pueblo por poseer una vía, hasta el trazado y replanteo horizontal del proyecto.

Se aprecia que el trabajo se vuelve mucho más fácil y más rápido al usar una Estación Total, en lugar de un Teodolito electrónico, debido a la tecnología de última generación que posee la Estación Total.

A pesar que la tecnología ha evolucionado, los métodos se mantienen, por esta razón, la comprobación es una etapa que nunca fue excluida, tanto en el trazado de los PI, como en el Replanteo de todos los componentes de la sección de la carretera.

6.2. Recomendaciones.

Para empezar el Replanteo de la carretera, el Residente de obra, debe exigir todos los documentos y planos que conforman el proyecto, tanto el digital, como el material impreso.

El personal topográfico debe hacer un reconocimiento del sitio, acompañados por el Residente y el Fiscalizador, para tomar decisiones en el trazado, en caso de algún inconveniente.

Las estaca-punto, latillas y demás objetos de demarcación deben estar visible lo máximo posible.

Es de suma importancia que el topógrafo esté continuamente revisando los puntos replanteados, ya que existe la posibilidad del ingreso de datos incorrectos en el equipo, la Estación Total no puede reconocer si el dato que se ha ingresado este bien o mal.

Es probable que cuando el clima tenga condiciones desfavorables, el primer disparo de láser nos proporcione lecturas incorrectas. Así que sin importar la condición del clima, siempre se debe considerar lecturas como correctas al tercer disparo.

Bibliografía.

[1] Topografía elemental – Russell C. Brinker & Warren C. Taylor 1ra Edición en español

- [2] Topografía - Álvaro Torres Nieto & Eduardo Villate Bonilla
- [3] Introducción a la Topografía - James M. Anderson & Edward M. Mikhail
- [4] Apuntes de Seminario de Vías - Eduardo Santos B. & Ignacio Gómez de la Torre. Ingenieros
- [5] Manual y Diseño de Carreteras - MOP 2000.
- [6] Especificaciones Generales - MOP-001F-2000.
- [7] Topografía - Mensaje Gráfico Geoespacial - Gilberto Swanston
- [8] IGM -. Instituto Geográfico Militar - Guayaquil
- [9] SECAP- Sistema Ecuatoriano de Capacitación Profesional
- [10] Wikipedia - www.wikipedia.org
- [11] SOKKIA - www.sokkia.com