

T
526.9
B276e
1979
F. I. y ARQ.

096131

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

UES BIBLIOTECA CENTRAL



INVENTARIO: 10123602

ESTUDIO COMPARATIVO DEL DISEÑO DE UN
TRAMO DE AUTOPISTA POR LOS METODOS
FOTOGRAFICO-ELECTRONICO Y CONVENCIONAL.

Trabajo de graduación previo a la opción
del título de

TECNICO EN TOPOGRAFIA

presentado por

MARIO BARRIOS ALFARO



JULIO DE 1979

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR a.i.: Lic. JOSE LUIS ARGUETA ANTILLON
SECRETARIO a.i: Lic. OSCAR ARMANDO ACEVEDO VELASQUEZ

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

DECANO a.i: Ing. JOSE FRANCISCO AGUIRRE TOVAR
SECRETARIO a.i: Ing. MANUEL ANTONIO CAÑAS LAZO

ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

DIRECTOR: Ing. ROBERTO OSWALDO SALAZAR MARTINEZ

TRABAJO DE GRADUACION

DIRECTOR: Ing. ROBERTO LOPEZ MEYER

ASESORES: Ing. JOSE BUSTAMANTE h.

Ing. GUSTAVO ADOLFO CASTILLO

A MI MADRE

A MI ESPOSA

A MIS HIJAS

I N D I C E

| | <u>PAGINA</u> |
|--|---------------|
| PROLOGO. | i |
| <u>CAPITULO I -</u> | |
| Introducción. | 1 |
| <u>CAPITULO II -</u> | |
| Generalidades del Trabajo. | 7 |
| <u>CAPITULO III -</u> | |
| Estudio Preliminar. | 11 |
| 3.1 Ubicación del Proyecto. | 11 |
| 3.2 Recopilación de Datos. | 12 |
| 3.3 Análisis de Datos. | 13 |
| <u>CAPITULO IV -</u> | |
| Elementos de Localización y Trazo. | 16 |
| 4.1 Identificación. | 16 |
| 4.2 Cálculos Previos | |
| 4.3 Polígonos Básicos de amarre a Puntos de Control. | |
| 4.4 Ajuste de Polígonos Básicos y Amarre con Eje. | |
| 4.5 Trazo del Eje. | 26 |
| 4.6 Cálculos y Dibujos de la Planimetría. | 27 |
| 4.7 Nivelación del Eje. Cálculo y <u>Di</u> bujo del Perfil. | 28 |

PAGINA

| | | |
|------|--|----|
| 4.8 | Trazo y Nivelación de Secciones Transversales. | 30 |
| 4.9 | Cálculo y Dibujo de Secciones Transversales. | 31 |
| 4.10 | Volúmenes. Diagrama de Masas. . . | 32 |

CAPITULO V -

| | | |
|-----|---|----|
| | Comparaciones. | 36 |
| 5.1 | Métodos Empleados. | 36 |
| 5.2 | Perfil del Eje y Secciones Transversales. | 37 |
| 5.3 | Volúmenes. | 37 |

CAPITULO VI -

| | | |
|-----|-----------------------|----|
| | Conclusiones. | 39 |
| 6.1 | Costos. | 39 |
| 6.2 | Tiempo. | 39 |
| 6.3 | Precisión. | 40 |

ANEXOS:

Planimetría, perfiles, gráficos de masa anotaciones de campo y otros.

PROLOGO

Surge el presente trabajo ante el auge de la nueva tecnología en el diseño de carreteras. Contando en nuestro país con equipo y personal altamente calificado para el empleo del método fotogramétrico-electrónico en este diseño, era de imperiosa necesidad verificar su precisión con el método convencional, que aunque costoso y lento, nos da cierto grado de exactitud comprobada.

Es el INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL, el organismo estatal que cuenta con los equipos y personal necesarios para desarrollar este tipo de proyectos. Además, pone a la disposición de la Dirección General de Caminos, la Dirección General de Urbanismo y Arquitectura, el Ministerio de Agricultura, etc., así como también de entidades de carácter privado y de profesionales independientes, toda la información pertinente.

Nuestro agradecimiento al personal del INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL y a todas las instituciones, empresas y personas que en una u otra forma nos prestaron su valiosa colaboración a este modesto trabajo que con mucho entusiasmo ponemos a consideración.

MARIO BARRIOS ALFARO

CAPITULO I

INTRODUCCION

La historia de la construcción de caminos tiene que remontarse hasta los albores de la existencia del hombre, cuando éste hizo sus primeros senderos por el uso selectivo de las mejores o menos peligrosas rutas entre su caverna y las fuentes de sustento. De aquí en adelante, aunque muy lentamente, estableciendo pasos de bestias y abriendo trochas para carretas, etc., el hombre sigue avanzando en sus técnicas y luego construye en Egipto, según Herodoto, el primer camino de piedra hacia el año 3000 antes de J.C., para transportar los grandes bloques de piedra de la gran Pirámide de Cheops.

Muchas civilizaciones de la antigüedad dieron atención importante al mejoramiento de los caminos. El estudio de famosas ruinas como las de Babilonia, Creta, China y el Imperio Inca ha puesto en evidencia que las civilizaciones que allí existieron desarrollaron extensamente la construcción de buenos caminos. Sin embargo, fueron los romanos los que construyeron el sistema de carreteras más avanzado de su época, pues sus caminos militares cruzaron todo el Imperio estando éste en su apogeo. La mayoría de estos caminos fueron hechos de piedra y tenían hasta un

metro de espesor; sus trazas aún existen en Europa.

Después de la caída del Imperio Romano, prácticamente hay un receso científico que anula la construcción de caminos por varios siglos. Los medios de transporte quedan reducidos a pie o a caballo. En el siglo XVII aparecen las primeras diligencias, vehículos que demandaron mejores caminos.

Los franceses aportaron su gran contribución durante el régimen de Napoleón, construyendo caminos militares siguiendo un "sistema nacional de carreteras". Se emplearon nuevas técnicas ideadas por el ingeniero Trésaguet. Por esta misma época dos ingenieros ingleses, Telford y McAdam, desarrollaron técnicas similares siendo este último el precursor de los modernos pavimentos y bases de McAdam.

En el siglo XIX, aparece triunfante el ferrocarril, que frenó por varias décadas el desarrollo del transporte por carretera. Pero el avance del automovilismo comenzó a exigir, en la primera mitad del siglo actual, más y mejores carreteras. Estas se comenzaron a construir asfaltadas, adoquinadas, de concreto, etc., llegándose a exigir para el trazo y diseño de las rutas modernas, la tecnología más avanzada. El desmesurado aumento del número, peso y velocidad de los automóviles, en unión de diversos

factores, ha impuesto la construcción de supercarreteras o autopistas - freeways en Estados Unidos, como solución parcial del problema del transporte contemporáneo.

No hay duda en que el avance tecnológico logrado por el hombre a partir del medio siglo hasta nuestros días ha sido extraordinario.

Uno de los aportes más significativos es el desarrollo en el campo electrónico, que recibió un gran impulso con los programas espaciales de los Estados Unidos y de Rusia.

El perfeccionamiento logrado en dispositivos ópticos y electrónicos en los sistemas de medición ha llegado a logros no imaginados. En esa constante inquietud del hombre por realizar proyectos de ingeniería que conlleven cierto grado de certeza, no solamente en el aspecto técnico sino también en el económico y social, nos encontramos en la actualidad con la respuesta justa a la problemática del diseño de una carretera: el método fotogramétrico electrónico.

En esta metodología encontramos, como una de sus bondades, la economía para obtener una representación completa de la superficie terrestre, el alcance de cualquier proyecto. Tomemos en cuenta también que la Fotogrametría

es auxiliar de primera categoría en forestación, hidrología, uso potencial del suelo, geomorfología, etc. El uso de la información proveniente de la fotografía aérea sólo está limitado por el ingenio humano. De lo anterior se desprende que un proyecto así definido para una carretera, deja obsoletos los sistemas de trazar en el terreno una o varias preliminares de ruta y sopesar la que mejor convenga, todo ello a un costo elevado de tiempo y dinero y sin tener la seguridad que la decisión final ha sido la óptima.

Veamos a grandes rasgos cuales son las condiciones que se necesitan para que un proyecto fotogramétrico-electrónico nos sirva con eficiencia aceptable.

Primero se tiene que contar con buenos equipos, en primera instancia las cámaras, esto nos dará junto con las películas adecuada confiabilidad para poder efectuar mediciones. Las emulsiones apropiadas en las películas registran detalles que pueden escapar al ojo en una observación directa.

Para lograr la eficacia en el desarrollo del proyecto, la cual no dependerá solamente de la cámara, hay que tomar muy en cuenta factores como escala de fotografía, traslapes, líneas de vuelo, instrumentos en general y equipos para mapeo. Es de suma importancia la etapa de

fotointerpretación, auxiliar valiosísima para la localización, con esta técnica se analizarán a fondo las condiciones topográficas, geológicas, hidrológicas, demográficas, etc., que nos darán las posibles alternativas. En este aspecto, la fotogrametría proporciona un servicio insustituible. Por medio de ella se mide, evalúa y utiliza toda la información que existe en la fotografía aérea.

El método fotogramétrico electrónico para carreteras se comenzó a usar en la década de los años cincuenta en los Estados Unidos, Alemania, Suiza, Inglaterra y Suecia, los progresos en la técnica han sido extremadamente rápidos y por su actual eficiencia, todas las naciones con cierto grado de desarrollo lo usan ya rutinariamente.

En nuestro país, sin contar las pruebas respectivas previas, se inicia con dos proyectos del Programa de Caminos Rurales (1973-74), llevados hasta el nivel de anteproyecto a la escala 1:5000 utilizando las cartas topográficas existentes elaboradas por el INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL, después se han efectuado los proyectos La Cuchilla-Santa Ana, Comalapa-Zacatecoluca, Autopista del Aeropuerto Cuscatlán y actualmente el proyecto de Autopistas Metropolitanas, una que corre de Oeste a Este, partiendo de la entrada a Santa Tecla y finalizando en el Boulevard del Ejército Nacional, a la altura de la Colonia Lamate-

pec, y la otra en el sentido Sur-Norte, que se inicia en las casetas de peaje del proyecto de la Autopista al nuevo Aeropuerto Cuscatlán en la Colonia California y termina adelante de Apopa, en la cercanía de la Destilería Salvadoreña; un tramo de esta última Autopista analizaremos en nuestro estudio.

Lo anteriormente expuesto nos hace suponer que ya pasamos de la etapa de prueba y estamos llegando con la experiencia conseguida a lograr una mayor capacidad y eficiencia.

CAPITULO II

GENERALIDADES DEL TRABAJO

El objeto primordial de este trabajo consiste básicamente en analizar a fondo las ventajas y desventajas relativas a un proyecto desarrollado respectivamente por los dos métodos: el fotogramétrico-electrónico y el convencional.

El sistema para localización de carreteras por método fotogramétrico-electrónico que el INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL utiliza, es el de localización D T M (Digital Terrain Model), desarrollado por el Instituto Tecnológico de Massachusetts. Este consiste en recopilar la información fotogramétrica en cinco programas para computadora, que se resolverán con los datos de diseño y especificaciones previstas en un proyecto óptimo de movimientos de tierra, alineamientos, pendientes, drenajes, derechos de vía, costos, etc.

El modelo digital del terreno es la representación numérica en coordenadas X, Y, Z, de la faja de diseño.

El sistema comprende tres fases:

- a.) Preparación de datos del terreno
- b.) Diseño de alineamientos.
- c.) Diseño de la carretera.

El primer aspecto a considerar tendrá que ser el grado de exactitud alcanzado por uno y otro método, dándole prioridad al hecho de que la medición convencional efectuada en el campo, con equipos ajustados, coeficientes de error, comprobaciones y verificación de cálculos y dibujos, tendrá el mejor crédito para la comparación. Supondremos que el tramo así medido es representativo de lo más cercano a lo real.

Con toda esta información ordenada se procederá a la comparación numérica, tanto en lo que se refiere a planimetría como a altimetría, basándose en porcentajes de exactitud para luego relacionar los efectos y su incidencia en el proyecto global.

Luego de tener valores tabulados desde el punto de vista de cálculo geométrico del proyecto, hay que evaluar su comportamiento en relación al costo, sin olvidar que el método convencional exige desde el principio las líneas preliminares de ruta, que en el presente caso se omitieron.

Se pondrá especial cuidado en el desarrollo del presente trabajo, anotando todos los errores, dificultades en la medición tales como brechas, accidentes del terreno, etc., ya que estos factores son reales y comunes a cualquier trabajo de esta índole.

Tómese en cuenta que el factor humano afecta en forma negativa en el método convencional, al emplear como ayudantes (cadeneros) a personas que, aunque tienen alguna o amplia experiencia, carecen con frecuencia de responsabilidad generalmente por motivo de su poca educación. No es así en el método fotogramétrico-electrónico cuya responsabilidad descansa en personal altamente calificado.

Es posible que la altimetría, debido a lo abrupto del terreno y abundante vegetación, resulte muy laboriosa. Se usarán equipos corrientes: teodolito Wild T-2 (lectura al segundo), cintas métricas de acero común, nivel fijo Wild N10, miras de madera también Wild, etc. Las distancias se medirán sin dinamómetro, nivel ni barómetro, por lo que en los cálculos no se ajustará para lo anterior, tampoco se tomará en cuenta la refracción ni la curvatura de la tierra. Se procederá como Topografía Plana.

Los ángulos se leerán cuatro veces con ocho lecturas. Para las vistas se usará plomada con tarjeta en el cordel. Se evitará en lo posible trabajar en las horas de mayor calor del mediodía. Los niveles se correrán con lectura de los tres hilos (tercer orden) para los circuitos de amarre a los Bancos de Marca. El eje se nivelará corrientemente a un hilo siempre con nivel fijo. Las secciones transversales se tomarán con nivel de mano. En

las hojas de coordenadas los rumbo se calcularán al segundo, las funciones trigonométricas a ocho cifras decimales y a tres cifras las proyecciones.

Se dibujará en una sola hoja la planimetría y la altimetría del eje. Se referenciarán todos los puntos con clavo. Las secciones transversales se dibujarán también en una sola hoja y su cálculo se hará por método analítico y para su verificación se usará planímetro. Se llevarán dos libretas de campo: una para la planimetría, y la otra para amarres y niveles del eje y para las secciones transversales.

CAPITULO III

ESTUDIO PRELIMINAR

3.1 UBICACION DEL PROYECTO.

El tramo seleccionado para el presente trabajo, forma parte de una alternativa localizada y diseñada con el método fotogramétrico-electrónico, en los proyectos de AUTOPISTAS METROPOLITANAS. Dicho tramo es bastante representativo, comienza en la Estación 8+536.793 y finaliza en la Estación 9+499.984.

Está ubicado al norte de la ciudad de San Salvador, a inmediaciones de la nueva Penitenciaría, en la zona conocida como Mariona en jurisdicción de Mejicanos. La topografía es muy ondulada y el eje avanza sobre cañadas de invierno que no están controladas, por lo que hay lugares muy erosionados. Tales cañadas se han formado con los drenajes de la carretera recién pavimentada, que corre al Este del proyecto. Fluyen todas hasta una quebrada natural de unos 20 metros de ancho, la cual corre al Oeste del eje y luego es travezada por éste; es bastante honda con respecto a los terrenos aledaños y en la misma se vierten las aguas negras de una colonia recién construída. El tramo del proyecto atravieza partes cultivadas de cereales, po-

treros y terrenos incultos cubiertos de matorrales cerrados y arboleda. El acceso es por la calle recién pavimentada que conduce hasta la carretera Apopa-Quezaltepeque, pasando por la Penitenciaría mencionada.

La mayor parte del tramo está dentro de una sola propiedad: la finca "Santa Rita" y no hay problemas para el libre acceso.

3.2 RECOPIACION DE DATOS.

En las oficinas de AUTOPISTAS METROPOLITANAS se nos proporcionó un plano de conjunto a escala 1:15000 indicativo del proyecto y mostrando los Puntos de Control del INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL más cercanos al tramo. También se nos entregó una hoja con coordenadas, rumbos, distancias y datos de curva del tramo que vamos a localizar. Este comprende una curva circular horizontal de gran radio y una distancia en tangente de 616.615 metros. Las cuerdas para el trazo de la curva serán del valor subtendido por un arco de 20.00 Mts.

Previa solicitud al INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL, se nos proporcionó en hojas separadas las descripciones de los Puntos de Control con sus respectivas coordenadas y elevaciones, lo cual servirá para cada localización.

Para la tapa de cálculo y dibujo, la Oficina Consultora del Proyecto de AUTOPISTAS METROPOLITANAS, nos proporcionará los datos de rasante y sección típica de la Autopista proyectada, para que con ellos y nuestros resultados obtengamos los volúmenes de tierra a mover. El INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL hará otro tanto con ellos y con sus propios datos.

3.3 ANALISIS DE DATOS.

Se hizo una verificación de toda la información, recalculando cada dato con el objeto de estar listos para el inicio del trabajo de campo. Los datos de información son los siguientes:

| | <u>Estacionamientos</u> |
|--|-------------------------|
| P.C. (Principio de curva) | 8+536.793 |
| P.I. (Punto de intersección) | 8+710.25 |
| P.T. (Principio de tangente) | 8+883.169 |
| P.C. (Principio de la siguiente curva) | 9+499.984 |

| <u>Puntos de Control</u> | <u>Latitud</u> | <u>Longitud</u> | <u>Elevación</u> |
|--------------------------|----------------|-----------------|------------------|
| AM - 134 | 291215.93 | 479578.17 | 663.601 Mts. |
| AM - 134 Adic. | 291019.47 | 479192.43 | 687.566 " |
| AMM - 15 | 291582.12 | 479260.74 | 636.177 " |
| AMM - 16 | 292031.86 | 479481.26 | 568.90 " |

También obtuvimos los datos correspondientes a los

Puntos de Control AM - 24 y AM - 24 ADIC, pero se descartaron por ser imposible la vista directa entre ellos, debido a reciente construcción, según se constató al ser identificados en el terreno.

Considerando suficientes los datos anteriores, después de un completo análisis de ellos, quedó todo dispuesto para proceder a la identificación de los puntos en el terreno.

DATOS DEL EJE TRAMO A REPLANTEAR

| ESTACION | DISTANCIA | DEFLEXION | RUMBO | LONGITUD | LATITUD |
|---------------------------------|-----------|--------------|-----------------|-------------|-------------|
| P.C. = 08+536.793 | 173.457 | | N 07° 48' 48" E | 479.025.446 | 290.916.942 |
| P.I. ₁₀ = 08+710.250 | 173.457 | -07° 48' 48" | Norte-Franco | 479.049.028 | 291.088.788 |
| P.T. = 08+883.169 | 616.815 | | Norte-Franco | 479.049.027 | 291.262.245 |
| P.C. = 09+499.984 | 963.729 | | | 479.049.027 | 291.879.060 |
| Distancia Total | | | | | |

DATOS CURVA No. 10

Delta = -07° 48' 48"

G° = 00° 27' 04"

Radio = 2540.000 m.

Cuerda = 346.107 m.

L.C. = 346.376

S.T. = 173.457

CAPITULO IV

ELEMENTOS DE LOCALIZACION Y TRAZO

4.1 IDENTIFICACION.

Por la descripción de cada Punto de Control se logró identificar cada uno de ellos. El AM - 134 y el AM - 134 - ADIC se encuentran como a 430 metros entre sí, pero hubo necesidad de dar un gran rodeo para localizar el AM-134 regresando a Mejicanos y luego tomando la calle de la Col. Buenos Aires. Los Puntos de Control AMM - 15 y AMM-16 se encuentran, igual que el AM - 134 ADIC, próximos a la carretera existente de Mariona y por su posición son más accesibles; distan entre sí unos 500 metros. Es de hacer notar que los Puntos de Control están monumentados en concreto, con un pin que no sobresale del afinado superior por lo que hay discrepancias al colocar una mira corriente de nivelación.

Después de identificar los Puntos de Control, se inspeccionó el terreno para establecer las rutas de las poligonales auxiliares necesarias para establecer el eje. Desgraciadamente, se comenzó el trabajo de campo con operaciones que al cabo no dieron resultado satisfactorio y nos hicieron perder el tiempo, aumentado el costo de la inves-

tigación. La falla consistió en partir con una poligonal desde AM - 134 ADIC, con vista atrás al AM - 134, estableciendo un punto auxiliar próximo al P.I. del tramo; luego, analíticamente, se calculó rumbo y distancias para establecer dicho P.I. y trazar parte del eje en tangente, hasta la Estación 9+260.

Después que se trazó el eje hasta la mencionada estación, desde el punto AMM - 15, vista atrás al punto AMM-16, se corrió otra poligonal en la cual se midió una distancia por triangulación; se comprobó demasiado error al llegar a la Estación 9+160, error que quisimos compensar corriendo la poligonal entre los puntos de salida AM - 134 ADIC y AMM - 15 para cerrar circuito, pero ésta también dió mucho error por lo que finalmente optamos por descartar todo lo hasta aquí efectuado, que también incluía haber bajado niveles a un hilo hasta el punto auxiliar cercano al P.I.

En este fracaso influyeron además, los siguientes factores: el haber usado un teodolito de apreciación del décimo de minuto, fuertes vientos y lluvia, y además, lo accidentado del terreno. Se decidió cambiar de método y usar otro aparato de mayor precisión. Se optó por dos amarres más seguros en poligonales cerradas independientes, para acercarnos al eje desde los mismos Puntos de Control.

Como se verá en los cálculos, los errores que resultan en esos dos polígonos básicos, están dentro de los límites aceptables. Se ha trabajado a horas frescas, usando sombra para el teodolito. Los errores angulares indican que el trabajo se ha efectuado con esmerado cuidado y con aparato ajustado; los ángulos acimutales se han leído cuatro veces, con ocho anotaciones, lo cual corrige con su suficiencia el error. Las distancias se corrieron en ambos sentidos por lo que la media empleada nos mejora la precisión. No se tomaron detalles de referencias en estas dos poligonales por considerarlas de transición, previas al trazo principal que es el eje. Se mojonearon (de cemento) los dos puntos de aparato más próximos a dicho eje, como una precaución.

En los cálculos y dibujos de las siguientes páginas se explican los incisos 4.2, 4.3 y 4.4, que se refieren a los polígonos básicos y sus ajustes.

El dibujo de la planimetría del eje está al final en la misma hoja del perfil longitudinal y no después del inciso 4.5 que trata del trazo de dicho eje.

CALCULO DEL POLIGONO BASE PARTIENDO DE LOS PUNTOS DE CONTROL AMM - 15 AMM - 16

| ESTACION | DISTANCIA | DEFLEXION | RUMBO | NORTE | SUR | ESTE | OESTE |
|----------|-----------|-------------|--------------|--------|-------|--------|--------|
| AMM-15 | | | S 26°07'12"W | | | | |
| 1 | 30.23 | + 73°08'27" | N 80°44'21"W | 4.865 | | | 29.835 |
| 2 | 29.47 | + 12°13'02" | N 68°31'19"W | 10.790 | | | 27.423 |
| 3 | 62.50 | - 28°36'25" | S 82°52'16"W | | 7.756 | | 62.016 |
| 4 | 76.07 | + 66°55'10" | N 30°12'34"W | 65.739 | | | 38.275 |
| 5 | 55.31 | - 65°41'42" | S 84°05'44"W | | 5.689 | | 55.016 |
| | 52.03 | +171°31'03" | N 75°36'47"E | 12.927 | | 50.398 | |

Vista atrás
AMM-16

mediciones

.....Viene

| ESTACION | DISTANCIA | DEFLEXION | RUMBO | NORTE | SUR | ESTE | OESTE |
|----------|-----------|-------------|--------------|-----------|--------|----------|------------|
| 6 | | + 75°33'35" | | | | | |
| | 84.83 | | S 28°49'38"E | | 74.317 | 40.902 | |
| 7 | | - 60°09'55" | | | | | |
| | 63.85 | | S 88°59'33"E | | 1.122 | 63.840 | |
| 8 | | - 01°58'06" | | | | | |
| | 29.64 | | N 89°02'21"E | 0.497 | | 29.635 | |
| 9 | | + 13°11'48" | | | | | |
| | 28.59 | | S 77°45'51"E | | 6.059 | 27.940 | |
| AMM-15 | | - 76°07'05" | | | | | |
| | 512.52 | +179°59'52" | | 94.818 | 94.943 | 212.715 | 212.565 |
| | | e = 08" | | e = 0.125 | | e = 0.15 | |
| | | | | | | | E = 0.195 |
| | | | | | | | P = 1/2628 |

COMPENSACION DEL POLIGONO ANTERIOR

EL ERROR ANGULAR DE 08" SE DESPRECIA DEBIDO A QUE AL COMPENSARLO NO AFECTARIA LA TERCER CIFRA DECIMAL EN LAS PROYECCIONES.

LA DIFERENCIA EN PROYECCIONES DE LATITUD ES $e_{N-S} = 0.125$ M.

LA DIFERENCIA EN PROYECCIONES DE LONGITUD ES $e_{E-W} = 0.150$ M.

MEDIDA DEL ERROR REAL $E = 0.19525 = 0.195$ M.

LA PRECISION CALCULADA SEGUN PERIMETRO $E = 1:2628$

LA COMPENSACION DE LAS PROYECCIONES SE CALCULO DISTRIBUYENDO EL ERROR PROPORCIONALMENTE, PARA LAS NORTE - SUR

$$e_{N-S} = 0.125 = 0.00065872334$$

$$Pn+Ps = 189.761$$

$$Kn = 1.0006587 \quad Ks = 0.9993412$$

PARA ESTE - OESTE

$$e_{E-W} = 0.150 = 0.0003527088$$

$$Pe+Pw = 425.280$$

$$Ke = 0.9996473 \quad Kw = 1.0003527088$$



POLIGONO I - COMPENSADO

| ESTACION | DISTANCIA | RUMBO | NORTE | SUR | ESTE | OESTE | LATITUD | LONGITUD |
|----------|-----------|--------------|--------|--------|---------|---------|-------------|-------------|
| AMM-15 | | | | | | | 291.582.12 | 479.260.74 |
| 1 | 30.240 | N 80°43'43"W | 4.867 | | | 29.845 | 586.992 | 230.895 |
| 2 | 29.481 | N 68°30'59"W | 10.796 | | | 27.432 | 597.789 | 203.462 |
| 3 | 62.515 | S 82°53'17"W | | 7.750 | | 62.037 | 590.049 | 141.427 |
| 4 | 76.096 | N 30°12'59"W | 65.781 | | | 38.288 | 655.806 | 103.130 |
| 5 | 55.324 | S 84°06'41"W | | 5.684 | | 55.035 | 650.130 | 048.097 |
| 6 | 52.018 | N 75°35'41"E | 12.935 | | 50.380 | | 663.071 | 098.480 |
| 7 | 84.800 | S 28°49'12"E | | 74.268 | 40.887 | | 588.774 | 139.359 |
| 8 | 63.830 | S 89°00'22"E | | 1.121 | 63.817 | | 587.667 | 203.180 |
| 9 | 29.632 | N 89°01'31"E | 0.497 | | 29.624 | | 588.171 | 232.808 |
| AMM-15 | 28.579 | S 77°46'36"E | | 6.055 | 27.930 | | 291.582.120 | 479.260.740 |
| | 512.520 | | 94.876 | 94.879 | 212.638 | 212.637 | | |

CALCULO DEL POLIGONO BASE PARTIENDO DE LOS PUNTOS DE CONTROL AM - 134, AM - 134 ADIC

| ESTACION | DISTANCIA | DEFLEXION | RUMBO | NORTE | SUR | ESTE | OESTE |
|-------------|-----------|-------------|--------------|--------|--------|---------|-----------------------|
| AM-134 ADIC | | | S 63°00'36"W | | | | Vista atrás AM-134 |
| 1 | 17.75 | + 19°29'15" | S 82°29'51"W | 2,318 | | 17,607 | |
| 2 | 22.02 | - 04°57'52" | S 77°31'59"W | 4,753 | | 21,500 | |
| 3 | 39.97 | + 08°38'40" | S 68°53'19"W | 14,396 | | 37,287 | |
| 4 | 87.49 | + 42°12'16" | N 68°54'25"W | 31,486 | | 81,627 | |
| 5 | 88.03 | +179°58'46" | S 68°55'39"E | 31,651 | 82,143 | | |
| 6 | 41.41 | - 43°04'08" | N 68°00'13E | 15,510 | | 38,395 | |
| 7 | 21.98 | + 11°57'07" | N 79°57'20"E | 3,833 | | 21,643 | |
| AM-134 ADIC | 15.98 | + 01°43'07" | N 81°40'27"E | 2,313 | | 15,811 | |
| AM-134 | | - 18°40'06" | N 63°00'21"E | | | | |
| | 334.64 | +179.59.45 | | 53,142 | 53,118 | 157,992 | 158,021 |

e = 15"

e = 0.024 e = 0.029

E = 0.037

P = 1/9044

COMPENSACION DEL POLIGONO ANTERIOR

EL ERROR ANGULAR DE 15" SE DESPRECIA DEBIDO A QUE AL COMPENSARLO NO AFECTA
RA LA TERCER CIFRA DECIMAL EN LAS PROYECCIONES.

$$e_{N-S} = 0.024$$

$$e_{E-W} = 0.029$$

$$E = 0.037$$

$$1:9044$$

Para Norte - Sur

$$e_{N-S} = 0.024 = 0.0002258611$$

$$P_n + P_s = 106.260$$

$$K_n = 0.9997741389 \quad K_s = 1.0002258611$$

Para Este - Oeste

$$e_{E-W} = 0.029$$

$$P_e + P_w = 316.013$$

$$K_e = 1.0000917684 \quad K_w = 0.9999082316$$

POLIGONO II - COMPENSADO

| ESTACION | DISTANCIA | RUMBO | NORTE | SUR | ESTE | OESTE | LATITUD | LONGITUD |
|------------|-----------|--------------|--------|--------|---------|---------|-------------|-------------|
| AM-134ADIC | | | | | | | 291.019.470 | 479.192.430 |
| 1 | 17.756 | S 82°29'57"W | | 2.318 | | 17.605 | 017.152 | 174.825 |
| 2 | 22.017 | S 77°31'49"W | | 4.754 | | 21.498 | 291.012.398 | 153.327 |
| 3 | 39.966 | S 68°52'58"W | | 14.399 | | 37.283 | 290.997.999 | 116.044 |
| 4 | 87.478 | N 68°54'35"W | 51.478 | | | 81.619 | 291.029.477 | 034.425 |
| 5 | 88.038 | S 68°55'29"W | | 31.658 | 82.150 | | 290.997.819 | 116.575 |
| 6 | 41.410 | N 68°00'36"E | 15.506 | | 38.398 | | 291.113.325 | 154.973 |
| 7 | 21.980 | N 79°57'36"E | 3.832 | | 21.644 | | 017.157 | 176.617 |
| AM-134ADIC | | | | | | | 291.019.469 | 479.192.429 |
| | 334.625 | | 55.128 | 53.129 | 158.004 | 158.005 | | |

4.5 TRAZO DEL EJE.

Se corrieron dos polígonos auxiliares cuyo objeto es el de establecer amarres próximos al eje. Estos dos polígonos básicos que llamaremos Polígono I y Polígono II se hicieron con un teodolito Wild T-2 de lectura al segundo y con una mira horizontal, para mayor confiabilidad debido al fuerte desnivel del terreno en ambos polígonos.

El Polígono I se inicia en el Punto de Control AMM-15, con vista atrás en el AMM - 16, cerrando el circuito con nueve distancias y su vértice número cinco es el más próximo al eje en la Estación 9+260.

El Polígono II se inicia en el Punto de Control AM-134 ADIC, con vista atrás en el AM - 134, cerrando el circuito con siete distancias, siendo el vértice número cuatro el más próximo al eje. De este vértice número cuatro se calculó la distancia y deflexión necesarias para ubicar o establecer el P.C. de la curva No. 10 e iniciar el trazo del eje.

Aquí comienzan una serie de problemas que nos obligan cuatro veces a replantear y ajustar el mencionado eje. Debido a que del vértice número cuatro al P.C. el terreno es muy accidentado, en una distancia de 112.892 metros se necesitaron tres estaciones de aparato, con el último tra-

mo de 16.555 metros, distancia muy corta para hacer un buen alineamiento. Se continuó hacia el P.I. con 173.457 metros de subtangente con el mismo problema: distancias cortas para alineamiento y dos estaciones de aparato. Estas circunstancias nos hicieron desplazar el trazo con respecto al Polígono I en el vértice número cinco, verificando distancia y ángulo que según cálculos debe ser de 11.095 metros con una deflexión de $+04^{\circ} 46' 43''$.

Con la desviación resultante se ajustó angularmente a partir del P.I. ajustando también en las estaciones anteriores; después de tres tentativas se llegó a un alineamiento dentro de los límites admisibles.

El eje en toda su longitud está ubicado, como ya se dijo, en terreno bastante accidentado, por lo que se necesitaban para su trazo total doce estaciones de aparato en la tangente y ocho en la curva, que dicho sea de paso también se trazó tres veces.

4.6 CALCULOS Y DIBUJOS DE LA PLANIMETRIA.

Se dibujó también la planimetría del tramo a escala 1:1000, con objeto de enviarla al INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL para que sirva de base en la investigación de los datos que se obtendrán fotogramétrica y electrónicamente. Para este dibujo se utilizó un papel especial de alta estabilidad.

La Planimetría se dibujará en la misma hoja del perfil, siempre a la escala 1:1000 y se agregará al presente trabajo.

4.7 NIVELACION DEL EJE. CALCULO Y DIBUJO DEL PERFIL.

Después de las dificultades y atrasos sufridos en los amarres y trazo del eje, los cuales obedecieron a múltiples factores como mal tiempo, terreno abrupto, poca experiencia de los cadeneros, empleo de métodos inapropiados al comienzo y, también, una que otra dificultad para trabajar en equipo, se logró finalmente un trazo bastante exacto y aceptable del mencionado eje. Terminada esta fase pasamos a los preámbulos de la nivelación, tratamos de elegir el mejor método para lograr amarres exactos a los Bancos de Marca.

Se partió de los Bancos de Marca establecidos por el INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL: los Puntos de Control AM - 134 ADIC y AMM - 16 cuyas elevaciones respectivas son 687.566 y 568.90 metros sobre el nivel del mar. Se procedió a la nivelación de dos circuitos diferentes de Tercer Orden para establecer nuestros Bancos de Marca, No. 1 y No. 2, ubicados sobre el eje proyectado, los cuales sirvieron para correr niveles convencionales de ida y regreso a lo largo de las tres divisiones en que, para el efecto, se fraccionó la línea central del tramo.

Para establecer los Bancos de Marca No. 1 y No. 2, se prefirió usar el método de lectura de los tres hilos, nivelación de Tercer Orden, con una tolerancia de $12\sqrt{K}$, siendo K igual a la distancia en kilómetros; se usó un nivel Wild NK10 por ser imposible conseguir otro de mayor precisión, la nivelación se efectuó en las horas más frescas, para evitar exceso de reverberación. Se usaron miras convencionales con su respectivo nivel esférico. Se procuró que las distancias fueran cortas y con diferencias de hasta diez metros entre vistas atrás y adelante, leyendo la mira arriba de los veinte centímetros. Al calcular los circuitos se obtuvieron discrepancias dentro de lo permisible, como se muestra en las hojas de campo que se anexan.

A continuación se corrieron niveles del eje proyectado, el cual quedó dividido en las tres etapas ya mencionadas, demarcadas por los Bancos de Marca auxiliares. Se usó el sistema convencional de un solo hilo, pues las distancias son conocidas, aceptando un cierre de hasta 1 cm. por kilómetro; los niveles se corrieron siempre ida y regreso, y en los zanjos y barrancas se usó nivel de mano, siguiendo el procedimiento usado en Caminos. Los resultados estuvieron dentro de lo permisible. El perfil se dibujó a escala horizontal 1:1000 y vertical 1:100 y junto a la planimetría se presenta en una sola hoja.

De la observación del perfil del tramo que tiene

unos 963 metros se nota un desnivel de sesentinueve metros con nueve crestas y otras tantas depresiones.

4.8 TRAZO Y NIVELACION DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES.

Tomando en cuenta lo cerrado de la vegetación y lo escarpado que resultaría el terreno en la mayoría de las secciones transversales, se acortó un poco el tramo representativo, comenzando ahora en la Estación 8+700 desde la cual se tomó la primera, siendo cuarentiuna el número total de ellas.

Se prefirió emplear nivel de mano para esta labor, en primer lugar por ser de uso convencional y en segundo lugar, por ser más rápido, cómodo y práctico sobre todo en este tipo de terreno.

Este trabajo resultó el más lento, árido y laborioso de todo lo efectuado en el campo. Trabajando dos cuadrillas al mismo tiempo, tardamos diez días para llevarlo a cabo. En cada estación se dió alineamiento con teodolito con el objeto de evitar desviaciones de la sección. Se seccionó a cada veinte metros a lo largo del eje y se nivelaron cincuenta metros, como mínimo, a cada uno de los lados del mismo.

Se logró dar feliz término a los trabajos de campo al seccionar en la Estación 9+500, extremo del tramo selec-

cionado, pasando a continuación al cálculo y dibujo.

4.9 CALCULO Y DIBUJO DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES.

Se calcularon y revisaron todas las elevaciones de la libreta de campo de secciones transversales. Estas se dibujaron a escala 1:200, dibujando también en cada una de ellas la sección típica de la autopista proyectada, con los datos respectivos que nos proporcionaron en las oficinas de AUTOPISTAS METROPOLITANAS.

Del dibujo mencionado obtuvimos las áreas de las secciones usando el método del planímetro y luego calculamos los volúmenes gruesos, con el objeto de tener una comprobación de los resultados obtenidos calculando las áreas por el método analítico, para lo cual nos ayudamos de la pequeña calculadora programable TI-59; con estos resultados analíticos, por ser más exactos hicimos las comparaciones con los resultados que nos proporcionó el INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL en valiosa cooperación, después de que les hubimos entregado la planimetría del tramo, acompañada de los datos de rasante y sección típica del proyecto.

Para poder establecer comparaciones sobrepusimos el dibujo de nuestras secciones, en el dibujo resultante de los datos de las secciones obtenidas en los modelos estereoscópicos, que nos fueron proporcionados por el INSTITUTO GEO

GRAFICO NACIONAL, cuyos resultados los trataremos más adelante.

4.10 VOLUMENES. DIAGRAMA DE MASA.

Con los resultados analíticos de las áreas de las secciones transversales, se calcularon los volúmenes comprendidos entre cada dos secciones (estaciones), multiplicando el promedio de las áreas consecutivas por la distancia entre ellas que es de veinte metros. Simplificando esta operación nos queda $V = 10(A_1 + A_2)$. También, calculamos volúmenes con las áreas obtenidas con planímetro, cifras que han servido para comprobación.

La técnica de mover grandes cantidades de tierra (terracería) es muy importante en Ingeniería, pues trata de hacerlo con inteligencia desde el diseño, evitando los costos excesivos y tratando de sincronizar todos los aspectos que pueden generar movimientos innecesarios, que redundan en la consiguiente pérdida de tiempo y dinero. También habrá que tomar muy en cuenta los tipos y eficiencia del equipo de terracería a usar.

El resumen de la cuestión es llevar material de los puntos más altos (cortes) hasta los más bajos (rellenos) y compensar los déficit con material de préstamo; los sobrantes se desperdiciarán adecuadamente. Para determinar todos

estos movimientos de tierra y minimizar sus costos existe el método conocido como Diagrama de Masa, de uso general en los proyectos de carreteras. No es completamente exacto y toma algún tiempo el hacerlo, sin embargo, quizás sea el más preciso que existe con la ventaja de que sólo requiere operaciones sencillas de aritmética.

El diagrama de masa es la representación gráfica de los volúmenes de tierra a mover y sus distancias de acarreo en un tramo dado. Dicho de otra manera, es la curva que tiene como abscisas las distancias horizontales o estaciones de ruta y como ordenadas, las sumas algebraicas acumuladas de los volúmenes de corte y relleno.

En este trabajo, para abreviar y por no ser el objetivo calcular para construcción, sino para hacer comparaciones, se ha suprimido el llamado factor de "abundamiento" o de compensación del movimiento de tierra, que en la práctica es necesario tomar muy en cuenta para el apropiado cálculo de la terracería. Un metro cúbico de corte no equivale a un metro cúbico de relleno, excepto si se trata de roca, por causas como: desperdicios durante el transporte, arrastre por el viento y el agua, y compactación más densa que en el sitio de origen. Por lo tanto el volumen de relleno tiene que multiplicarse por el mencionado factor, que usualmente oscila entre 1.15 y 1.25, para lograr el equilibrio con el volumen de corte. Pero como ya se dijo, en es

te trabajo no se tomará en cuenta este factor. Cabe ahora también aclarar, que los niveles de la sección típica del proyecto, se han considerado como de terracería terminada para simplificar las operaciones.

Volviendo sobre el diagrama de masa, mencionaremos como ilustración para su uso correcto, algunas de sus propiedades:

- 1o.) Cuando la curva asciende existe corte y cuando decrece hay relleno.
- 2o.) Los máximos de la curva denotan cambio de corte a relleno y los mínimos cambio de relleno a corte.
- 3o.) Una línea horizontal que corta la curva en dos puntos denotará el equilibrio de los volúmenes de corte y relleno entre dichos puntos. A esta línea se le llama compensadora.
- 4o.) En dos puntos de la curva la diferencia de sus ordenadas marca el volumen a mover entre la distancia de tales puntos.
- 5o.) Cuando la curva queda arriba de la compensadora los acarreos son hacia adelante. Cuando la curva queda abajo son hacia atrás.

Aparte de lograr el equilibrio de cortes y rellenos, con el diagrama de masa se establece también la dis-

tribución ventajosa de los mismos, así como las distancias de acarreo libre y sobre acarreo, datos muy importantes para elaborar un presupuesto bien ajustado.

En este mismo trabajo presentamos el dibujo de las curvas masa, tanto el del INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL, como el de nuestro levantamiento, para su comparación.

CAPITULO V

COMPARACIONES.

5.1 METODOS EMPLEADOS.

Al comparar los métodos empleados se observa que el fotogramétrico-electrónico tiene ventajas inigualables por el método convencional, en lo que se refiere a proyecto y diseño de carreteras. Son innumerables las dificultades y obstáculos que se sucedieron para lograr establecer una sola ruta preliminar, imaginemos la multiplicación de tales problemas y el mayor consumo de tiempo, si hubiésemos trazado dos o más alternativas como se acostumbra convencionalmente.

Inudablemente el sistema topográfico convencional no se puede desechar complemente, pues necesariamente se depende de él para muchas comprobaciones y levantamientos específicos como los que son necesarios para puentes, bóvedas, cruces e intersecciones, etc. En la etapa de construcción es insustituible para el replanteo y nivelación de la línea central y sus demarcaciones laterales; es imprescindible para el objeto de controlar la ejecución exacta de la terracería y fases subsiguientes.

5.2 PERFIL DEL EJE Y SECCIONES TRANSVERSALES.

Es de suponer que nuestros resultados son los que más cerca están de lo real y así lo asumiremos para efectos de tomar como base por razones obvias. Desde este punto de vista notamos que en la mayoría de los puntos, los niveles del INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL, discrepan en pequeñas magnitudes con los nuestros, las diferencias están casi siempre sobre nuestras cotas; lo cual pudiera indicar variaciones en la apreciación estereoscópica, originadas por la arboleda y matorrales.

También se deben las pequeñas discrepancias a la no coincidencia perfecta de los alineamientos en ambos métodos, que al desplazarse involuntariamente producen información altimétrica diferente, aunque se trate de poca distancia, sobre todo en este tipo de terreno de fuertes desniveles.

En el sentido general, se aprecia que cuando existe discrepancia, ésta tiende a mantenerse casi uniforme en toda la curva dibujada, por lo que son admisibles las razones antes expresadas.

5.3 VOLUMENES.

De la comparación de los datos en los volúmenes,

afirmamos el convencimiento de lo dicho en el inciso anterior. Es decir, que los datos de niveles del INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL estuvieron por encima de lo real, resultando el volumen de relleno aproximadamente un ocho por ciento menor que el calculado convencionalmente. Es te porcentaje cae dentro del 15% de fluctuación usualmente aceptado.

El volumen de corte no tiene diferencias significativas. Opinamos que sucede así porque la nivelación fotogramétrica de las zonas de corte fue más fiel, por encontrarse la mayoría de esas zonas con escasa vegetación.

Para visualizar mejor lo dicho, veamos el dibujo superpuesto de las curvas masa resultantes en ambos métodos, que se anexa al presente trabajo.

CAPITULO VI

CONCLUSIONES.

6.1 COSTOS.

El INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL, es un organismo bien establecido que, como ya dijimos al principio del trabajo, cuenta con instrumentos y equipos de gran eficiencia y sumamente costosos. Pero si tomamos en cuenta que su valor ya se ha amortizado o se está amortizando por la utilidad prestada en sus múltiples aplicaciones, el costo por unidad de longitud trabajada se vuelve bajo al compararlo con los excesivos y hasta imprevisibles costos de una localización y diseño convencionales.

Según datos que se investigaron en los organismos respectivos, el costo de un kilómetro de autopista localizada y calculada en el INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL, sin incluir diseño, es de unos \$3.000.00. Los costos de un kilómetro de localización y cálculo de terracería terrestres están por los \$12.000.00. La diferencia es elocuente.

6.2 TIEMPO.

Es aquí donde se concluye que el método fotogramétrico-electrónico resulta más conveniente, es decir, cuan-

do se toma el tiempo como referencia. Se puede decir que un trabajo se puede hacer por este método en la quinta parte del tiempo que tomaría el sistema topográfico usual. Por lo que en definitiva es recomendable su empleo.

6.3 PRECISION.

La precisión encontrada en nuestra investigación es aceptable, opinamos nosotros, al nivel de localización, proyecto grueso y diseño. Tal precisión puede considerarse confiable para reservas, presupuestos y licitaciones.

Es indudable que la técnica de localización y diseño fotogramétrico-electrónico ahondará mucho más e incidirá favorablemente en el desarrollo del sistema vial de la nación.

Hasta hace poco tiempo, ha existido una cierta resistencia, talvez por escasa divulgación, entre algunos sectores profesionales que han preferido continuar con las normas clásicas conservadoras. Pero el avance de la tecnología no se puede detener, ni se pueden poner obstáculos al ingenio humano.

Poco a poco, las Universidades están preparando e irán entregando al país más y más profesionales que versados en estas materias, les será de rutina el empleo de es

tas excelentes técnicas. Ellos también aportarán su intelecto para el desarrollo y avance de estas disciplinas.

A N E X O S

BIBLIOGRAFIA

"INGENIERIA DE CARRETERAS"

CUELLAR, Enrique Ing. Editorial Universitaria

J. B. Cisneros, 1a. Edición, 1960.