JESÚS MATAIX SANJUÁN
CARLOS A. LEÓN ROBLES
GLORIA LEÓN ROBLES
JUAN FRANCISCO REINOSO GORDO

PRÁCTICAS DE DISEÑO GEOMÉTRICO DE OBRAS LINEALES

UNIVERSIDAD DE GRANADA

E.T.S. INGENIEROS DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

DEPARTAMENTO EXPRESIÓN GRÁFICA ARQUITECTÓNICA Y EN LA INGENIERÍA

CUADERNOS DE TRABAJO

© LOS AUTORES.
© UNIVERSIDAD DE GRANADA.
PRÁCTICAS DE DISEÑO GEOMÉTRICO DE OBRAS LINEALES.
ISBN: 978-84-338-5441-4 Depósito legal: GR./ 2.959-2012
Edita: Editorial Universidad de Granada.
Campus Universitario de Cartuja. Granada.
Diseño de cubierta: Rosa Mª Rodríguez Mérida.
Fotocomposición: TADIGRA, S.L. Granada.
Imprime: Gráficas La Madraza, Albolote. Granada.

Printed in Spain *Impreso en España*

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra sólo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley. Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos –www.cedro.org), si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra.

ÍNDICE

Página

1. INTRODUCCIÓN.....5

1.1. Conceptos generales.....5

1.2. Clases de carreteras.....9

1.3. Datos básicos para el estudio del trazado.....11

1.3.1. Velocidad.....11

1.3.2. Visibilidad.....12

1.4. Uso y defensa de las carreteras. Protección del dominio público viario y limitaciones a la propiedad.....13

2. LA CARTOGRAFÍA.....17

2.1. Sistemas de referencia.....13

2.2. La cartografía en CLIP.....18

2.3. El Modelo Digital del Terreno.....18

Práctica nº 1. Adquisición de la cartografía.....23

3. TRAZADO EN PLANTA.....25

3.1. Tipos de alineaciones.....23

3.1.1. Rectas.....23

3.1.2. Curvas circulares.....26

3.1.3. Curvas de transición.....26

3.2. Definición geométrica del trazado en planta en CLIP....27

Práctica nº 2. Trazado en planta....30

4. TRAZADO EN ALZADO....37

4.1. Tipos de alineaciones....37

4.1.1. Alineaciones rectas....37

4.1.2. Acuerdos verticales....38

4.2. El tramo (I): terreno y rasante....39

Práctica nº 3. Trazado en alzado....40

5. SECCIÓN TRANSVERSAL....43

5.1. Aspectos generales....43

5.2. El tramo (II): datos globales y tablas de sección transversal....46

Práctica nº 4. Sección transversal....46

6. LA DEFINICIÓN GEOMÉTRICA EN EL PROYECTO....51

6.1. Introducción....51

6.2. Listados....52

6.3. Planos....55

Práctica nº 5. Obtención de planos y listados....59

7. TRAZADO DE UN TRAMO DE AUTOVÍA....61

Práctica nº 6. Trazado del tronco....61

Práctica nº 7. Trazado de un enlace....68

1. Introducción

1.1. Conceptos generales

Se entiende por obra lineal aquella en la que predomina una dimensión frente a las otras dos. Su característica fundamental es que se apoyan permanentemente sobre el terreno natural, lo que introduce fuertes condicionantes geométricos, geotécnicos, hidrológicos, ambientales, etc.

Son obras lineales las carreteras, caminos, viales urbanos, ferrocarriles, canales, conducciones (abastecimientos, saneamientos, gasoductos, oleoductos, salmoductos, etc).

La geometría de una obra lineal está condicionada por multitud de variables, como pueden ser los radios de las curvas, las inclinaciones de la rasante, los peraltes y el bombeo, las anchuras de la plataforma, etc. Para hacer frente a tal complejidad, el análisis geométrico se efectúa estudiando por separado el trazado en planta, el trazado en alzado y los perfiles transversales (Figura 1.1):

— El **trazado en planta** es la sección que produce el plano horizontal de referencia sobre la superficie cilíndrica de generatrices verticales y directriz el eje de la obra lineal. Su análisis se realiza en coordenadas UTM[1] (X,Y).

  Un punto determinado perteneciente al eje de la obra lineal se identifica mediante su distancia al origen, que se define como la distancia que separa la proyección horizontal del punto de la proyección horizontal del origen del eje, medida sobre éste.

— El **trazado en alzado** o perfil longitudinal es el desarrollo sobre un plano vertical de la superficie cilíndrica de generatrices verticales y directriz el eje de la obra lineal. Este análisis también es bidimensional, en abscisas la distancia al origen y el ordenadas la cota (coordenada Z).

— El **perfil transversal** es la sección que produce sobre la obra lineal y el terreno un plano vertical que pasa por un punto determinado del eje, y es perpendicular a su proyección horizontal. La abscisa es la distancia al eje y la ordenada, de nuevo, la cota.

1. Universal Transversa Mercator.

Los perfiles transversales permiten cuantificar el volumen total de movimiento de tierras y la superficie ocupada por la obra lineal. Por tanto, la precisión final de estas magnitudes dependerá del número de perfiles transversales considerados, esto es, de la separación entre ellos.

Esta simplificación no debe hacer olvidar que la obra lineal es en realidad tridimensional. Trazado en planta, trazado en alzado y perfil transversal no son independientes, sino que están íntimamente relacionados, de forma que no se puede estudiar uno de ellos sin tener en cuenta los otros.

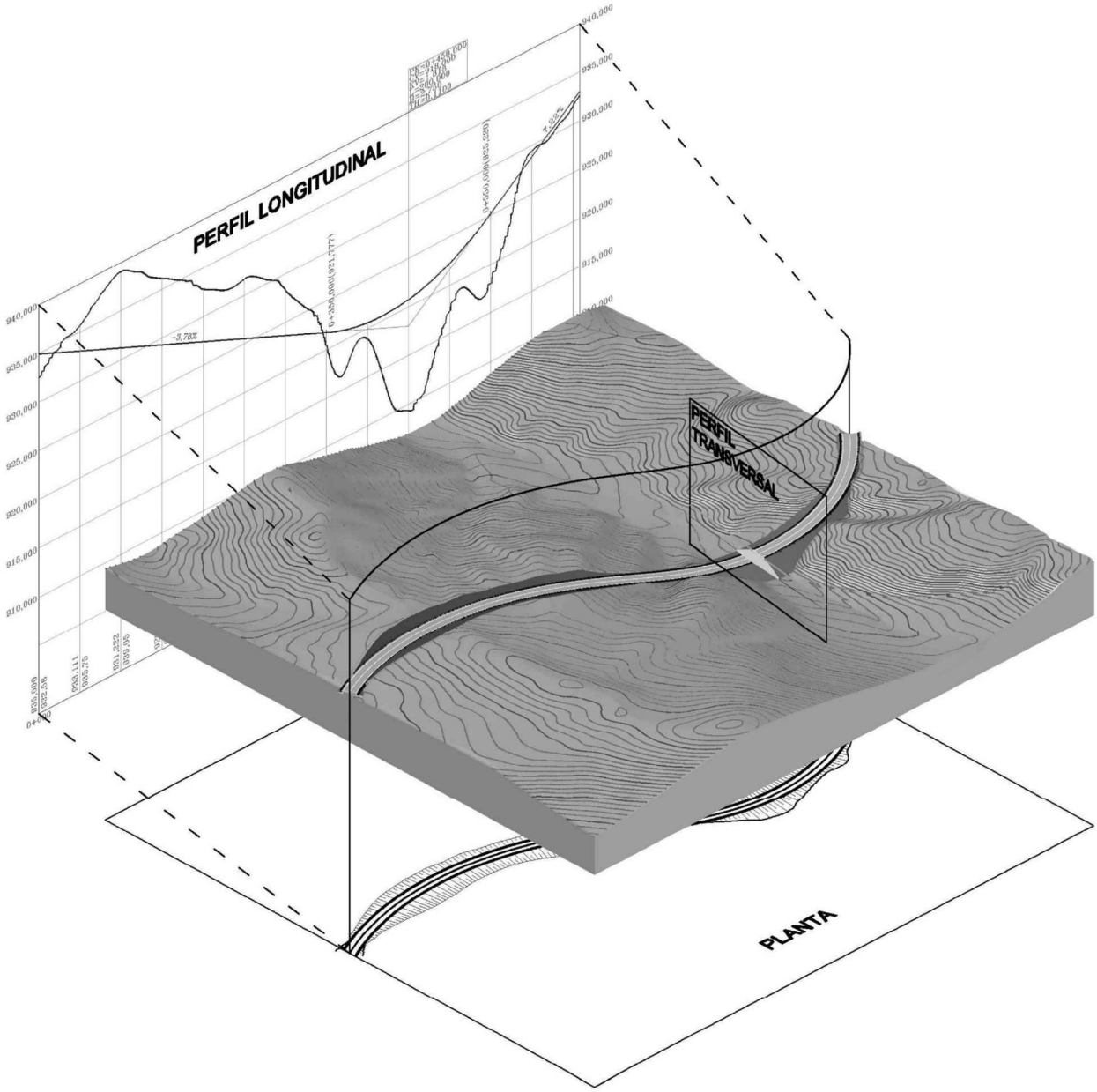


Figura 1.1: *Planta, alzado y perfil transversal.*

Este curso se centra en el diseño de carreteras, si bien prácticamente todos sus contenidos son extrapolables a cualquier tipo de obra lineal.

1.2. Clases de carreteras

A la hora de diseñar una carretera no sólo hay que centrarse en los aspectos puramente técnicos, sino que existe una amplia legislación y normativa en España que habrá que tener en cuenta en la elaboración de un proyecto. En este apartado se van a tratar las distintas clasificaciones de carreteras que proporcionan dichos documentos:

Según la Ley 25/88, de 29 de julio, de Carreteras (y por extensión el Real Decreto 1812/94, de 2 de Septiembre, por el que se aprueba el Reglamento General de Carreteras):

Se consideran carreteras las vías de dominio y uso público proyectadas y construidas fundamentalmente para la circulación de vehículos automóviles (artículo 2.1).

Por sus características, las carreteras se clasifican en autopistas, autovías, vías rápidas y carreteras convencionales (artículo 2.2):

1. *Son autopistas las carreteras que están especialmente proyectadas, construidas y señalizadas como tales para la exclusiva circulación de automóviles, y reúnan las siguientes características:*
   - *No tener acceso a las mismas las propiedades colindantes.*
   - *No cruzar a nivel ninguna otra senda, vía, línea de ferrocarril o tranvía ni ser cruzada a nivel por senda, vía de comunicación o servidumbre de paso alguna.*
   - *Constar de distintas calzadas para cada sentido de circulación, separadas entre sí, salvo en puntos singulares o con carácter temporal, por una franja de terreno no destinada a la circulación o, en casos excepcionales, por otros medios (artículo 2.3).*
2. *Son autovías las carreteras que, no reuniendo todos los requisitos de las autopistas, tienen calzadas separadas para cada sentido de la circulación y limitación de accesos a las propiedades colindantes (artículo 2.4).*
3. *Son vías rápidas las carreteras de una sola calzada y con limitación total de accesos a las propiedades colindantes (artículo 2.5).*

   Las autovías y las vías rápidas carecerán igualmente de pasos y cruces al mismo nivel con otras sendas, vías, líneas de ferrocarril o tranvía o con servidumbre de paso alguna.
4. *Son carreteras convencionales las que no reúnen las características propias de las autopistas, autovías y vías rápidas (artículo 2.7).*

No tendrán la consideración de carreteras:

1. *Los caminos de servicio, entendiendo por tales los construidos como elementos auxiliares o complementarios de las actividades específicas de sus titulares.*
2. *Los caminos construidos por las personas privadas con finalidad análoga a los caminos de servicio.*

Esta distinción también queda recogida de forma escueta en la **Instrucción de Carreteras. Norma 3.1-IC Trazado**, la cual además propone otras clasificaciones siguiendo diferentes criterios:

Según el número de calzadas:

1. *Carreteras de calzadas separadas: Son las que tienen calzadas diferenciadas para cada sentido de circulación, con una separación física entre ambas. Excepcionalmente pueden tener más de una calzada para cada sentido de circulación. No se considera como separación física la constituida exclusivamente por marcas viales sobre el pavimento o bordillos montables (altura inferior a 15 cm). Queda expresamente prohibido el proyecto de carreteras de calzadas separadas con más de cuatro carriles y menos de dos por calzada y sentido de circulación. A este respecto, no tendrán la consideración de carriles los de cambio de velocidad o de trenzado y los incluidos en confluencias y bifurcaciones de autovías o autopistas urbanas.*

2. *Carreteras de calzada única: Son las que tienen una sola calzada para ambos sentidos de circulación, sin separación física, independientemente del número de carriles. Queda expresamente prohibido el proyecto de carreteras de calzada única, con dos carriles o más en alguno de los dos sentidos de circulación, excepto los carriles adicionales y de cambio de velocidad.*

Según el grado de control de accesos:

1. *Sin acceso a propiedades colindantes: Son aquéllas en las que el acceso desde el exterior se realiza exclusivamente a través de enlaces o, mediante entradas y salidas directas a otras carreteras. No tendrán la consideración de accesos a propiedades colindantes los correspondientes a elementos funcionales de la carretera cuando no exista posibilidad de comunicación de uso público entre la carretera y el exterior de dichos elementos.*

2. *Con acceso limitado a propiedades colindantes: Son aquéllas en las que, además de los accesos a través de los enlaces o mediante entradas y salidas directas a otras carreteras, se pueden establecer otros a través de vías de servicio con entradas o salidas específicas.*

3. *Con accesos directos autorizados: Son aquéllas en las que no existen las limitaciones establecidas en los párrafos anteriores, debiendo cumplirse en cualquier caso la reglamentación vigente. Se deberá definir la frecuencia y disposición de los accesos según las condiciones técnicas derivadas de la funcionalidad de la carretera, su entorno, la intensidad del tráfico y la velocidad a que circulen los vehículos.*

Según las condiciones orográficas:

Se tipificarán las carreteras según el relieve del terreno natural atravesado indicado en la tabla 2.1, en función de la máxima inclinación media de la línea de máxima pendiente, correspondiente a la franja original de dicho terreno interceptada por la explanación de la carretera.

Tipo de Relieve	*Máxima inclinación i(%)*
Llano	*i<5*
Ondulado	*5<i<15*
Accidentado	*15<i<25*
Muy accidentado	*25>i*

Tabla 2.1.

Según las condiciones del entorno urbanístico, se considerarán:

1. *Tramos urbanos: Son los que discurren en su totalidad por suelo clasificado de urbano por el correspondiente instrumento de planeamiento urbanístico.*
2. *Tramos interurbanos: Son los no incluidos en el apartado anterior.*

Posteriormente, la Norma 3.1-IC establece una nomenclatura en la que se indica la clase de carretera, según su definición legal, seguido del valor numérico de la velocidad de proyecto, expresado en km/h. Las autopistas se designarán como AP, las autovías como AV, las vías rápidas como R y las carreteras convencionales como C. Salvo justificación en contrario, se considerarán exclusivamente las siguientes:

AP-120	AP-100	AP-80		
AV-120	AV-100	AV-80		
	R-100	R-80		
	C-100	C-80	C-60	C-40

Y finalmente, establece los siguientes grupos:

1. Grupo 1: Autopistas, autovías, vías rápidas y carreteras C-100.

2. Grupo 2: Carreteras C-80, C-60 y C-40.

1.3. Datos básicos para el estudio del trazado

En el apartado anterior se trata la nomenclatura que la Norma 3.1-IC da a las carreteras al denominarlas por su definición legal seguida del valor numérico de la velocidad de proyecto. Dicha velocidad de proyecto es considerada por la Norma como un dato básico para el estudio de trazado dentro de la categoría de velocidades. El otro gran apartado en el estudio de los datos básico es la visibilidad. A continuación se indica de manera resumida qué es lo que establece la Instrucción acerca de estos parámetros:

1.3.1. Velocidad

*El trazado de una carretera se definirá en relación directa con la velocidad a la que se desea que circulen los vehículos en condiciones de comodidad y seguridad ace*ptables.

Para evaluar cómo se distribuyen las velocidades en cada sección, se considerarán fijos los factores que incidan en ella relacionados con la clase de carretera y la limitación genérica de velocidad asociada a ella, así como las características propias de las secciones próximas.

Se considerarán esencialmente variables la composición del tráfico (en particular el porcentaje de vehículos pesados) y la relación entre la intensidad de la circulación y la capacidad de la carretera.

A efectos de aplicación de la presente Norma, se definen las siguientes velocidades:

1. ***Velocidad específica de un elemento de trazado (Ve)**: Máxima velocidad que puede mantenerse a lo largo de un elemento de trazado considerado aisladamente, en condiciones de seguridad y comodidad, cuando encontrándose el pavimento húmedo y los neumáticos en buen estado, las condiciones meteorológicas,* del tráfico y legales son tales que no imponen limitaciones a la velocidad,

2. ***Velocidad de proyecto de un tramo (Vp)****: Velocidad que permite definir las características geométricas mínimas de los elementos del trazado, en condiciones de comodidad y seguridad. La velocidad de proyecto de un tramo se identifica con la velocidad específica mínima del conjunto de elementos que lo forman.*

3. ***Velocidad de planeamiento de un tramo (V)****: Media armónica de las velocidades específicas de los elementos de trazado en planta de tramos homogéneos de longitud superior a dos kilómetros (2 km).*

Al estudiar el trazado de un tramo se calculará la velocidad de planeamiento y se comparará, tanto con la velocidad de proyecto, como con las velocidades de planeamiento de los tramos adyacentes, para estimar la homogeneidad de la geometría del tramo.

Las velocidades de proyecto y de planeamiento que se adopten, estarán en general definidas por los estudios de carreteras correspondientes, en función de los siguientes factores:

1. *Las condiciones topográficas y del entorno.*

2. *Las consideraciones ambientales.*

3. *La consideración de la función de la vía dentro del sistema de transporte.*

4. *La homogeneidad del itinerario o trayecto.*

5. *Las condiciones económicas.*

6. *Las distancias entre accesos, y el tipo de los mismos.*

1.3.2. Visibilidad

En cualquier punto de la carretera el usuario tiene una visibilidad que depende, a efectos de la presente Norma, de la forma, dimensiones y disposición de los elementos del trazado.

Para que las distintas maniobras puedan efectuarse de forma segura, se precisa una visibilidad mínima que depende de la velocidad de los vehículos y del tipo de maniobra.

La presente Norma considera las siguientes: Visibilidad de parada, visibilidad de adelantamiento y visibilidad de cruce.

1. *Se define como* ***distancia de parada (Dp)*** *la distancia total recorrida por un vehículo obligado a detenerse tan rápidamente como le sea posible, medida desde su situación en el momento de aparecer el objeto que motiva la detención. Comprende la distancia recorrida durante los tiempos de percepción, reacción y frenado.*

   Se considerará como ***visibilidad de parada*** *la distancia a lo largo de un carril que existe entre un obstáculo situado sobre la calzada y la posición de un vehículo que circula hacia dicho obstáculo, en ausencia de vehículos intermedios, en el momento en que puede divisarlo sin que luego desaparezca de su vista hasta llegar al mismo.*

2. *Se define como **distancia de adelantamiento (Da)**, la distancia necesaria pare que un vehículo pueda adelantar a otro que circula a menor velocidad, en presencia de un tercero que circula en sentido opuesto.*

   *Se considerará como **visibilidad de adelantamiento** la distancia que existe a lo largo del carril por el que se realiza el mismo entre el vehículo que efectúa la maniobra de adelantamiento y la posición del vehículo que circula en sentido opuesto, en el momento en que puede divisarlo, sin que luego desaparezca de su vista hasta finalizar el adelantamiento.*

3. *Se define como **distancia de cruce (Dc)** la longitud recorrida por un vehículo sobre una vía preferente durante el tiempo que otro emplea en atravesar dicha vía.*

   *Se considerará como **visibilidad de cruce**, la distancia que precisa ver el conductor de un vehículo para poder cruzar otra vía que intersecta su trayectoria, medidas a lo largo del eje de su carril. Está determinada por la condición de que el conductor del vehículo de la vía preferente pueda ver si un vehículo se dispone a cruzar sobre dicha vía.*

1.4. Uso y defensa de las carreteras. Protección del dominio público viario y limitaciones a la propiedad

En este apartado se expone otra limitación que se ha de tener en cuenta antes de abordar el diseño del trazado de una obra lineal. Cuando se lleva a cabo el proyecto de una carretera no sólo deben considerarse las dificultades técnicas, topográficas, geológicas, ambientales, etc. que puedan presentarse, sino que hay que tener presente que la Ley 25/88, de 29 de julio, de Carreteras establece una serie de limitaciones a la propiedad a la vez que busca la protección del dominio público, lo que puede resultar en que el trazado deba ser modificado en etapas avanzadas si no se han tomado en consideración previamente las distancias que legalmente deben respetarse.

La Ley de Carreteras establece en su artículo 20 las siguientes zonas: de dominio público, de servidumbre y de afección. Finalmente, dicha ley también considera línea límite de edificación, la cual queda definida más adelante.

A efectos del régimen jurídico de protección del dominio público viario y para la determinación de las limitaciones de la propiedad de los terrenos colindantes, los ramales de enlace y las vías de giros de intersecciones tendrán en todo caso la consideración de carreteras convencionales.

1. *Son **zonas de dominio público** los terrenos ocupados por las carreteras estatales y sus elementos funcionales, y una franja de terreno de ocho metros de anchura en autopistas, autovías y vías rápidas, y de tres metros en el resto de las carreteras, a cada lado de la vía, medidas en horizontal y perpendicularmente al eje de la misma, desde la arista exterior de la explanación. La arista exterior de la explanación es la intersección del talud del desmonte, del terraplén o, en su caso, de los muros de sostenimiento colindantes, con el terreno natural. En los casos especiales de puentes, viaductos, túneles, estructuras u obras similares, se podrá fijar como arista exterior de la explanación la línea de proyección ortogonal del borde de las obras sobre el terreno. Será en todo caso de dominio público el terreno ocupado por los soportes de la estructura (artículo 21.1).*

   En túneles, la determinación de la zona de dominio público podrá extenderse a la superficie de los terrenos necesarios para asegurar la conservación y mantenimiento de la obra, de acuerdo con las

características geotécnicas del terreno, su altura sobre el túnel y la disposición de sus elementos, tales como ventilación, accesos u otros necesarios.

Excepcionalmente, en los casos de viaductos y puentes, la expropiación y, en consecuencia, la configuración de la zona de dominio público, podrá limitarse a los terrenos ocupados por los cimientos de los soportes de las estructuras y una franja de un metro, como mínimo, a su alrededor. El resto de los terrenos afectados quedará sujeto a la imposición de las servidumbres de paso necesarias para garantizar el adecuado funcionamiento y explotación de la carretera.

2. *La **zona de servidumbre** de las carreteras estatales consistirá en dos franjas de terreno a ambos lados de las mismas, delimitadas interiormente por la zona de dominio público y exteriormente por dos líneas paralelas a las aristas exteriores de la explanación a una distancia de 25 metros en autopistas, autovías y vías rápidas, y de ocho metros en el resto de las carreteras, medidas desde las citadas aristas (artículo 22.1).*

3. *La **zona de afección** de una carretera estatal consistirá en dos franjas de terrenos a ambos lados de la misma, delimitadas interiormente por la zona de servidumbre y exteriormente por dos líneas paralelas a las aristas exteriores de la explanación a una distancia de 100 metros en autopistas, autovías y vías rápidas, y de 50 metros en el resto de las carreteras, medidas desde las citadas aristas (artículo 23.1).*

*A ambos lados de las carreteras estatales se establece la **línea límite de edificación**, desde la cual hasta la carretera queda prohibido cualquier tipo de obra de construcción, reconstrucción o ampliación, a excepción de las que resulten imprescindibles para la conservación y mantenimiento de las construcciones existentes. La línea límite de edificación se sitúa a 50 metros en autopistas, autovías y vías rápidas, y a 25 metros en el resto de las carreteras, de la arista exterior de la calzada más próxima, medidos horizontalmente a partir de la mencionada arista. Se entiende que la arista exterior de la calzada es el borde exterior de la parte de la carretera destinada a la circulación de vehículos en general (artículo 25.1).*

Acotar las distintas zonas de protección (zona de dominio público, zona de servidumbre, zona de afección y líneas límite de edificación) en las secciones transversales de la autovía y de la carretera convencional de la Figura 1.2 (se indican las marcas viales que delimitan los carriles).

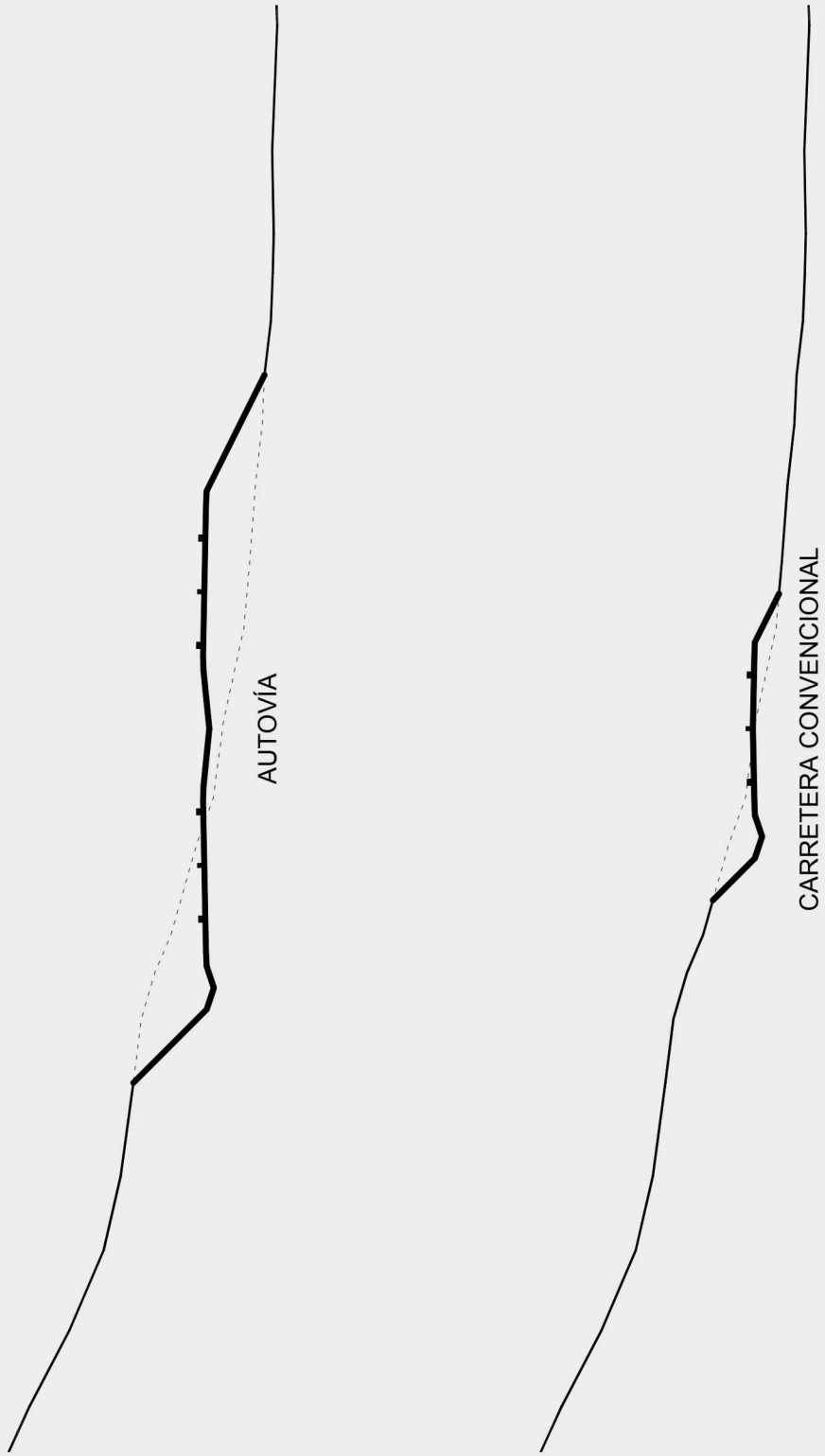


Figura 1.2.

2. La cartografía

2.1. Sistemas de referencia

La superficie matemática que mejor se aproxima a la forma de la Tierra es el elipsoide de revolución. Sin embargo, para proyectar cualquier infraestructura es necesario obtener una representación plana de la misma para poder trabajar sobre un plano. El elipsoide de revolución tiene el inconveniente de no ser una superficie desarrollable, por lo que si se pretende obtener una imagen plana del mismo mediante la aplicación de un sistema de proyección cartográfica, que a cada punto con una determinada latitud y longitud geográficas (ϕ,λ) le asigne unas coordenadas planas (x,y), es preciso tener en cuenta que habrá deformaciones, de manera que si se mide una distancia, un ángulo o una superficie en el plano no coincidirán necesariamente con los de la realidad. A pesar de ello, es posible buscar una pareja de funciones para el sistema cartográfico [$x = f(\phi,\lambda)$, $y = g(\phi,\lambda)$] de manera que conserve alguna de la propiedades, obteniendo un sistema *conforme* si se conservan los ángulos o un sistema *equivalente* si se conservan las superficies.

El sistema de proyección plana más extendido internacionalmente es la proyección UTM[2], la cual consiste en proyectar la superficie del elipsoide adoptado para modelizar la superficie terrestre sobre un cilindro tangente al mismo en uno de sus meridianos, teniendo la propiedad de conservar los ángulos tras la proyección (sistema conforme), aunque no así las distancias y superficies.

En España el sistema de proyección empleado desde la creación del Instituto Geográfico en 1870 fue el poliédrico. Sin embargo, por razones de homogeneidad y de continuidad cartográfica con los países vecinos, en el año 1970 se decidió seguir las recomendaciones de la Asociación Internacional de Geodesia, de la cual era miembro España, adoptando como sistema de proyección para el Mapa Topográfico Nacional la proyección U.T.M. con la distribución de husos internacional, datum geodésico europeo ED50[3], elipsoide de referencia internacional de Hayford (1924) y meridiano origen de longitudes en Greenwich (Reino Unido).

La aparición de los sistemas de navegación por satélite (GNSS[4]), como el GPS[5], GLONASS[6] y el futuro sistema GALILEO[7], ha tenido como consecuencia el desarrollo de modernos sistemas de referencia geodésicos

2. Universal Transversa Mercator.
3. Europeam Datum 1950.
4. Global Navigation Satellite System.
5. Global Positioning System.
6. Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema. Sistema global de navegación por satélite militar desarrollado por la Unión Soviética.
7. Sistema global de navegación por satélite en fase de desarrollo por la Unión Europea. A diferencia de los sistemas militares GPS y GLONASS, su uso será civil.

globales que permiten una alta precisión y homogeneidad para el posicionamiento. Este es el caso del sistema de referencia ETRS89[8], el cual está ligado a la parte estable de la placa continental europea y es consistente con los modernos sistemas de navegación por satélite, motivo por el cual está siendo adoptado por los países europeos. En el caso de España, para todos los trabajos de referenciación geográfica y cartográfica en el ámbito de la Península y las Islas Baleares, se ha sustituido el sistema geodésico de referencia regional ED50 por el sistema de referencia geodésico global ETRS89[9], adoptando el elipsoide GRS80[10] y como referencia para las altitudes los registros del nivel medio del mar obtenido en la estación mareográfica del puerto de Alicante.

En resumen, la adopción del sistema ETRS89 supone la entrada en una nueva época cartográfica en la que todos los países utilizarán el mismo sistema de referencia geodésico. Además, el elipsoide GRS80 es completamente equivalente a nivel de usuario con el elipsoide WGS84[11], que es el que utiliza la constelación GPS, por lo que se pueden utilizar las coordenadas obtenidas del GPS sin necesidad realizar cambios del datum ni transformación alguna[12], siendo el único error obtenido en el posicionamiento el que tenga el receptor GPS o el del método empleado.

Al igual que en el sistema ED50, el ETRS89 cuenta con su correspondiente marco de referencia, formado por una serie de vértices cuyas coordenadas se han calculado utilizando el elipsoide GRS80. El proyecto para construir y densificar este marco de referencia en España se denomina REGENTE (Red Geodésica Nacional por Técnicas Espaciales). Los vértices que pertenecen a la red REGENTE ya existían en la antigua Red de Orden Inferior (ROI), por lo que se dispone de sus coordenadas en los sistemas ETRS89 y ED50, circunstancia que permite calcular los parámetros de transformación entre ambos sistemas con mayor precisión.

2.2. La cartografía en CLIP

En CLIP, la cartografía sirve en primer lugar como referencia planimétrica para el diseño de las obras lineales. Si esta cartografía incluye algún tipo de modelo digital de elevaciones, entonces también podrá suministrar información altimétrica.

CLIP maneja un formato cartográfico propio denominado KAR. Por tanto, para trabajar con cualquier otro formato de cartografía (generalmente DXF y DGN) es necesario realizar una conversión, la cual se realiza de forma automática. De esta transformación resulta un archivo índice de extensión KAR y uno o varios archivos de extensión HOJ, que son los que almacenan la cartografía.

La cartografía KAR almacena la estructura de capas de la cartografía importada. Cada una de estas capas pueden hacerse no visibles en pantalla (para agilizar la regeneración de las vistas) o no imprimibles, entre otras acciones.

2.3. El Modelo Digital del Terreno

Sea cual sea el origen de la información altimétrica, se requiere de ella que sea capaz de proporcionar perfiles transversales del terreno a las distancias especificadas (apartado 1.1).

8. European Terrestrial Reference System 1989.
9. Real Decreto 1071/2007 de 27 de julio.
10. Geodetic Reference System 1980.
11. World Geodetic System 1984.
12. A excepción de las correcciones ocasionadas por la deriva de las placas continentales.

La información altimétrica puede obtenerse en general de los modelos siguientes:

— Modelo de líneas 3D

— Modelo Digital del Terreno

— Perfiles taquimétricos

También puede definirse un terreno horizontal, o importar un terreno a partir de un archivo.

Los **modelos de líneas 3D** están formados por entidades lineales de cota no constantemente nula. Pueden ser de varios tipos (Figura 2.1):

— Modelo de triángulos (TIN[13]): el terreno se modeliza mediante una superficie poliédrica de caras triangulares. Los elementos lineales que proporcionan la información altimétrica son los lados de estos triángulos.

— Modelo de curvas de nivel: el terreno se modeliza mediante las secciones que producen sobre su superficie planos horizontales de cotas a intervalos regulares.

— Modelo de líneas: el terreno se modeliza mediante las entidades lineales que lo definen, como líneas de rotura, etc.

La precisión del modelo depende de la densidad de las líneas que lo conforman y de la representatividad de las mismas.

El perfil transversal en un determinado punto de un eje se obtiene uniendo los puntos en los que el plano perpendicular al eje en dicho punto corta a las líneas del modelo (Figura 2.2).

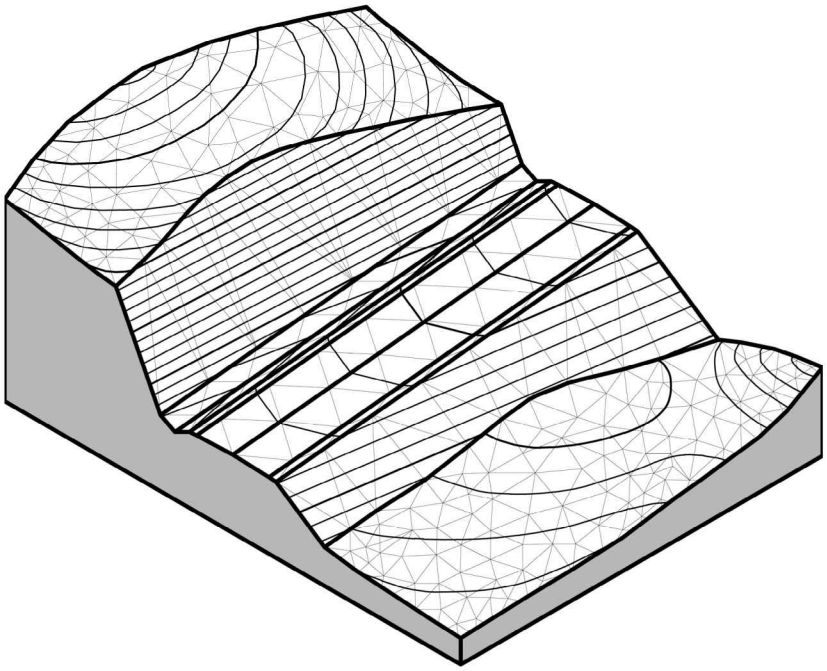


Figura 2.1: *curvas de nivel, líneas y triángulos que modelizan un terreno modificado por una carretera.*

13. Triangulated Irregular Network.

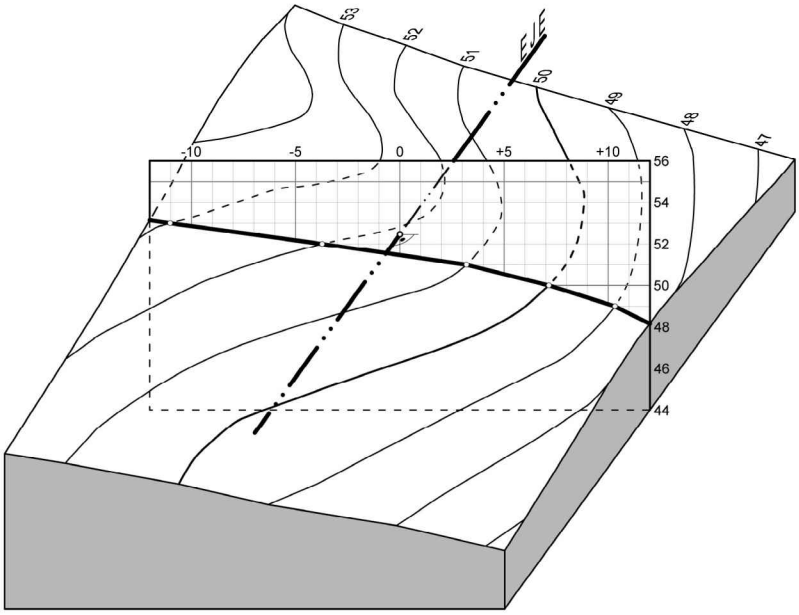


Figura 2.2: *perfil transversal del terreno en un punto del eje.*

Los modelos de curvas de nivel y de líneas no son excluyentes, normalmente es necesario completar un modelo de curvas de nivel con otras líneas tridimensionales y viceversa.

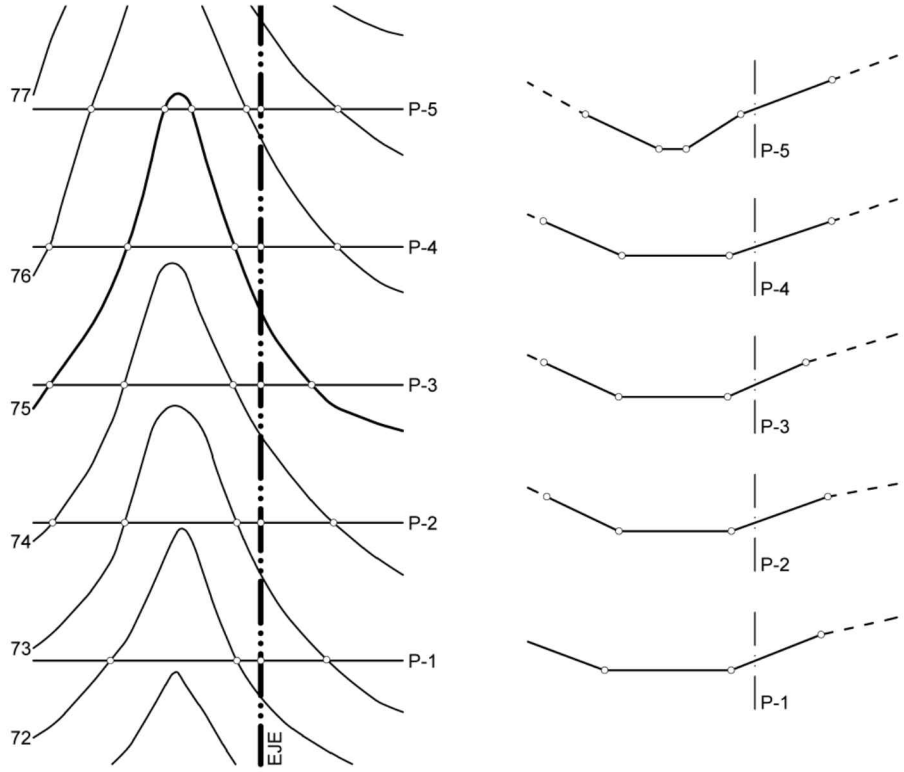
A continuación se muestran algunos problemas que pueden surgir en la adquisición de perfiles transversales a partir de modelos de curvas de nivel, así como su solución (se puede extrapolar a modelos de líneas):

— La Figura 2.3 representa un eje sensiblemente paralelo a un cauce. Si el modelo digital del terreno está formado únicamente por las líneas de nivel, la forma de éstas en el entorno del cauce puede motivar que el lecho no quede reflejado en los perfiles transversales (a).

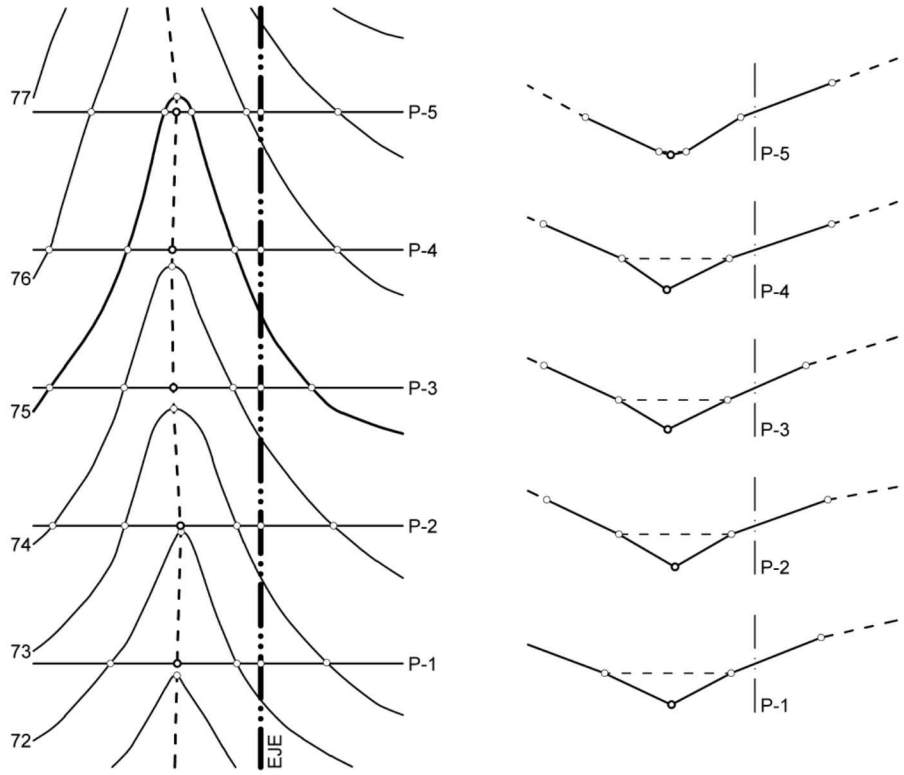
  Este problema puede subsanarse incluyendo en el modelo digital una línea poligonal que represente el lecho del cauce y se apoye en las sucesivas curvas de nivel (b).

— En la Figura 2.4, las curvas de nivel del terreno discurren en una zona de forma sensiblemente paralela a los transversales al eje, por lo que no se encuentran puntos de corte suficiente para representar el perfil real del terreno (a).

  Para evitar este efecto se han incluido en el modelo digital varias poligonales que se apoyan en las sucesivas curvas de nivel y proporcionan más puntos de corte para representar el perfil (b).



a) Sólo curvas de nivel



b) Curvas de nivel + línea de rotura

Figura 2.3: *línea de rotura en cauce para completar el modelo de curvas de nivel.*

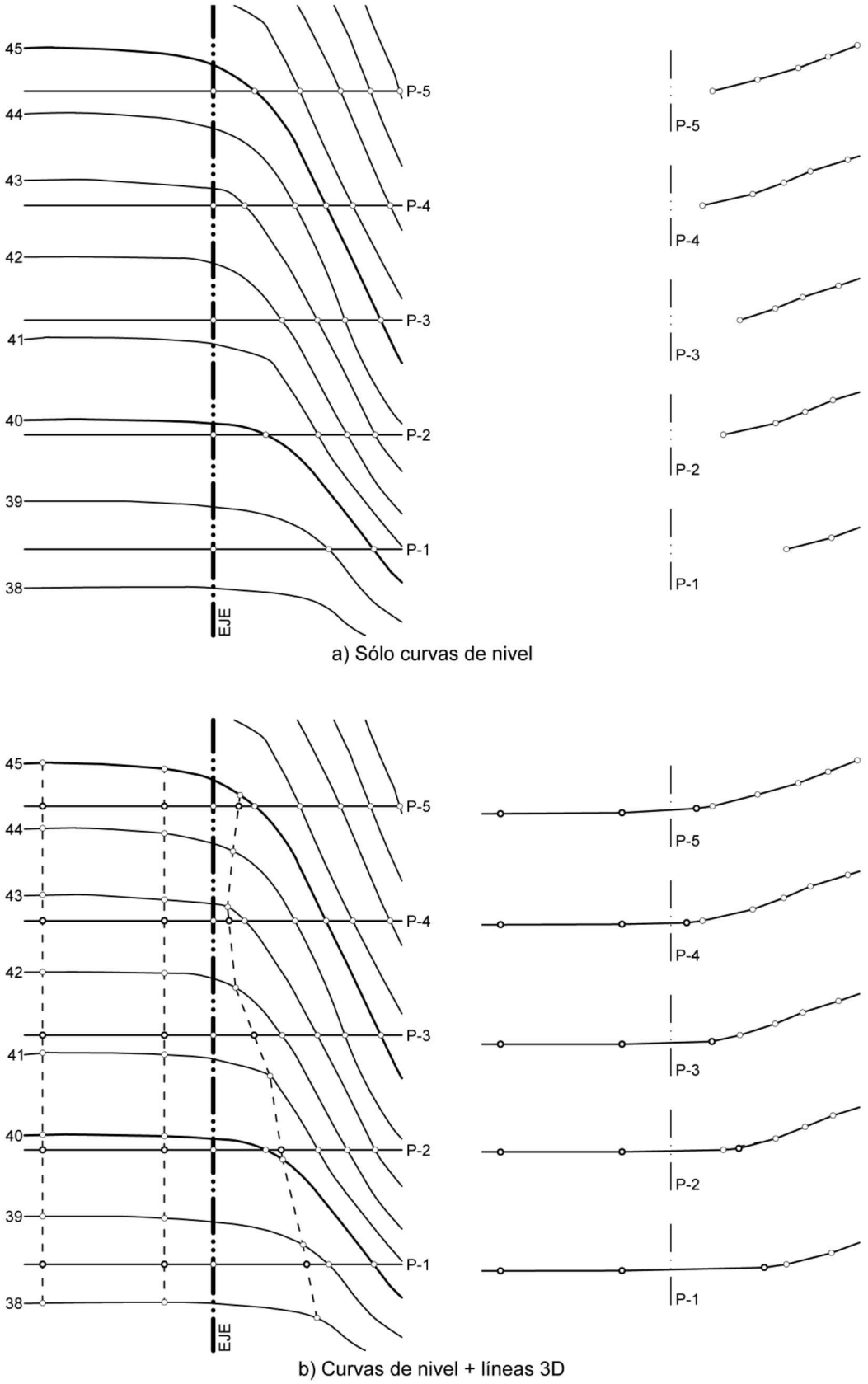


Figura 2.4: *líneas 3D para completar el modelo de curvas de nivel.*

Es necesario especificar qué capas de la cartografía contienen las líneas que definen altimétricamente el terreno; en caso contrario CLIP considerará las cotas de todas las líneas de la cartografía y el perfil será erróneo.

Los **Modelos Digitales del Terreno** definen la cota de los vértices de una cuadrícula de paso constante. Estos modelos no recogen las formas del terreno de dimensiones inferiores a este paso. La cota de un punto interior de esta cuadrícula se calcula mediante interpolación parabólica: los cuatro lados de la cuadrícula que rodean al punto en cuestión conforman un cuadrilátero alabeado que define un paraboloide hiperbólico, mediante el cual es muy sencillo determinar la cota del punto (Figura 2.5).

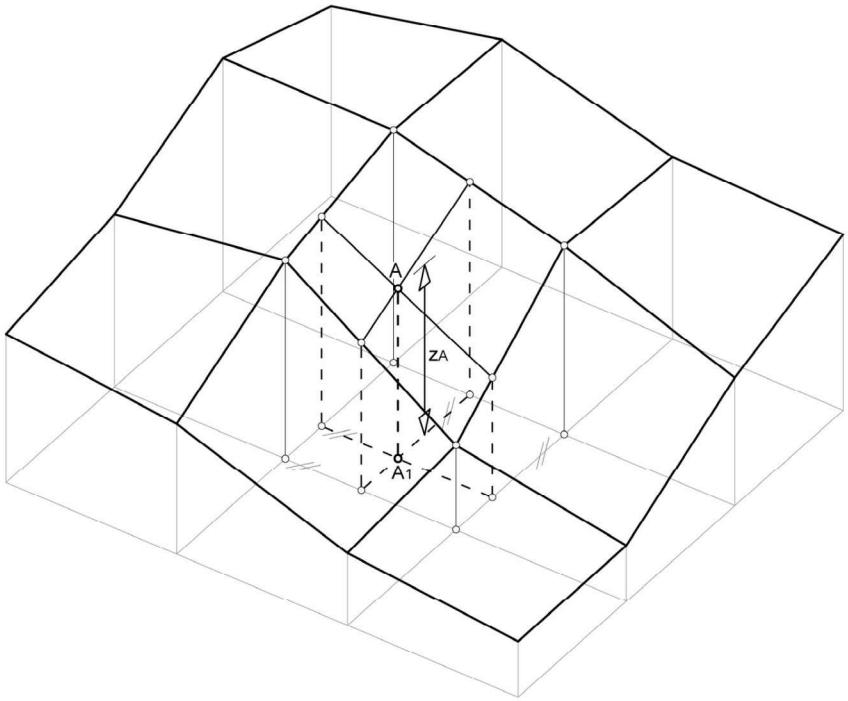


Figura 2.5: *interpolación parabólica para determinar la cota en un punto en un M.D.T.*

El Modelo Digital del Terreno no forma parte de la cartografía, se carga de forma independiente.

Los **perfiles taquimétricos** se obtienen en campo por métodos topográficos a partir del eje replanteado, cargándose directamente en CLIP.

Práctica nº 1. Adquisición de la cartografía

El objetivo de esta práctica es cargar en CLIP una cartografía a partir de un vuelo fotogramétrico, el cual se proporciona en formato DWG a través de la plataforma SWAD. Se tendrán que seguir los pasos necesarios para transformar los archivos DWG en archivos compatibles con CLIP (DXF o DGN).

El vuelo fotogramétrico está recogido en 13 archivos DWG independientes, que pueden cargarse uno a uno o de forma conjunta.

Dado que la adquisición de cartografía genera varios ficheros, se recomienda crear un directorio específico para almacenarlos.

El Modelo Digital del Terreno proporcionado en la cartografía es de curvas de nivel.

A la cartografía se le asignará el nombre “Escúzar”. Una vez creada esta cartografía y cargados los archivos, se pide:

1. Ocultar y hacer visible de nuevo la cartografía.
2. Disminuir y aumentar su grado de atenuación.
3. Consultar las propiedades de las entidades de la cartografía directamente en pantalla.
4. Activar y desactivar la visibilidad de las capas de la cartografía.
5. Localizar las capas que contienen las curvas de nivel y establecerlas como