



INGEGRAF



XVI CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA GRÁFICA

LA CARTOGRAFÍA APLICADA A LA REPRESENTACIÓN DE LAS OBRAS PÚBLICAS ESPAÑOLAS EN EL SIGLO XVIII.

SAN ANTONIO GÓMEZ, Carlos de (1), GONZÁLEZ TASCÓN, Ignacio (2), LEÓN CASAS,
Miguel Ángel (3)

⁽¹⁾Universidad Politécnica de Madrid, España
E.T.S.I. Agrónomos, Departamento de Ingeniería Cartográfica-Expresión Gráfica
Correo electrónico: csanantonio@ica.etsia.upm.es

⁽²⁾ y ⁽³⁾Universidad de Granada, España
E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos
Correo electrónico: ⁽²⁾ fundacion@juaneloturriano.com, ⁽³⁾ maleon@ugr.es

RESUMEN

En el XIV Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica celebrado en Santander en 2002, presentamos en una Comunicación las diferentes maneras de representar, en los siglos XVI y XVII, la orografía del terreno en los planos que los ingenieros elaboraron para la construcción de las diversas obras públicas civiles y militares. En esta ocasión, siguiendo la misma metodología, ampliamos la investigación al siglo XVIII, estudiando la aplicación de los procedimientos más intuitivos como son los perfiles abatidos, la perspectiva paralela (posteriormente caballera), los puntos acotados y el sombreado. Veremos como esos modos de representar son habituales en el quehacer proyectivo de los ingenieros españoles, especialmente los militares, de este siglo.

Es nuestra intención considerar este proceso de la representación de la cartografía histórica aplicada a la representación de las obras públicas, desde la óptica de la propia representación gráfica de los documentos planimétricos.

Palabras clave: Historia de la cartografía. Historia de la representación gráfica. Aportación española a la ciencia cartográfica. Historia de las obras públicas.

ABSTRACT

In the XIV International Congress of Graphic Engineering taken place in Santander in 2002, we presented in a Communication the different ways to represent, in the XVI and XVII centuries, the orography of the land in the plans that the engineers prepared for the construction

of the diverse civil and military public works. In this occasion, following the same methodology, we enlarge the investigation to the XVIII century, studying the application of the most intuitive procedures as the turned profiles, the parallel perspective (later on isometric oblique view), the spot points and the shading. We will see as those ways of representing are common in the work proyectivo of the Spanish engineers, especially the military ones, of this century.

It is our intention to analyze the application of the drawing techniques of historical cartography to the drawing of plans for public works projects in that era.

Key words: History of cartography. History of design. Spanish contribution to science of cartography. History of public works.

1. Introducción

La representación del relieve del terreno en sus formas intuitiva y científica y su evolución a lo largo de los siglos, es el contexto en el que enmarcamos esta comunicación que sigue la línea de investigación que venimos desarrollando en los últimos años sobre distintos aspectos de la historia de la representación gráfica. Es un eslabón más de la cadena de trabajos que hemos realizado para dar cuerpo a una posible Historiografía de la Expresión Gráfica en la Ingeniería, disciplina que sería aneja a la Historia de la Ingeniería, que no existe en el perfil de los actuales planes de estudio de marcado carácter utilitarista, donde la referencia a la historia no encuentra lugar al contrario que en otras disciplinas técnicas como la arquitectura, las ciencias exactas o la medicina, que han valorado más su herencia histórica. Por fortuna, en los últimos años, abundan investigaciones paralelas sobre la llamada arqueología industrial, un aspecto más de la Historia de la Ingeniería que, poco a poco, va consolidándose como disciplina.

De la investigación que llevamos a cabo han surgido tesis doctorales, artículos y comunicaciones a congresos, por lo que nos remitimos a ellos con el objeto de no caer en reiteraciones. En el apartado Referencias citamos, entre otros textos, algunas comunicaciones presentadas a los congresos de Ingegraf, porque su consulta será más asequible para nuestra comunidad científica.

Por las limitaciones propias de este tipo de trabajos, nos vemos obligados a ser tremendamente escuetos tanto en el texto como en la reproducción de imágenes. Sentimos no poder presentar los muchos ejemplos que hemos localizado tanto en la península como en el conjunto de los territorios españoles de ultramar. Tampoco es posible analizar con profundidad cada uno de esos modelos.

2. Recursos gráficos para representar el relieve del terreno

Para facilitar la lectura de esta comunicación, mencionamos brevemente los procedimientos o ingenios gráficos más habituales en el siglo XVIII para representar la orografía del terreno. Se pueden distinguir diversos métodos: perfiles abatidos, perspectiva paralela (posteriormente caballera), puntos acotados, sombreado, líneas de

máxima pendiente y curvas de configuración horizontal. Cada uno marcó una época, aunque, a veces, algunos coexistieran simultáneamente durante un cierto tiempo.

Perfiles abatidos: Fue el primer método para representar el relieve del terreno por ser el más intuitivo. Se ha utilizado ininterrumpidamente desde las representaciones egipcias y babilónicas hasta el siglo XIX. Además de su falta de rigor geométrico, tenía el inconveniente de ocultar una gran parte del terreno. Con este método las montañas se dibujaban en alzado o perfil lateral y se denominaban “toperas”, “montículos” e “hileras de piedras”. Estas formas adoptaban disposiciones individuales, filas y aglomeraciones, con siluetas redondeadas, puntiagudas, rayadas a modo de sombra, para sugerir ilusión de realidad. A veces, las siluetas de cadenas montañosas o filas de montañas, se superponían transformándose en bandas marrones, verdes o rayadas, dando la impresión de sierras redondeadas.

Perspectiva Caballera: Es una representación más realista de las formas del terreno aunque tampoco es científica. El punto de vista se fue elevando y el relieve se representaba utilizando figuras cuyos contornos se asemejan a perspectivas superpuestas tomadas desde un punto elevado. Este modo de representar resulta bastante arbitrario y como en el anterior oculta una gran parte del terreno.

Puntos Acotados: Con este sistema la superficie del terreno está perfectamente definida desde el punto de vista geométrico, pero la representación no es clara ni expresiva porque es difícil interpretar una nube de puntos acotados. Cuando el terreno es accidentado su definición precisa no puede obtenerse sino es con una multitud de puntos acompañados de sus respectivas cotas, solución que es generalmente incompatible con la representación clara de la planimetría. Este procedimiento se usa, casi exclusivamente, en los mapas marítimos debido esencialmente al espacio disponible. En los planos topográficos, los puntos acotados tienen el papel de facilitar la identificación de las cotas de las curvas de nivel o hipsoisas, y de señalar la altitud de puntos destacables de la orografía (cimas, picos, etc.) y de la planimetría (pasos a nivel, encrucijadas, etc.).

Sombreado: El primer método con el que se obtenía una cierta sensación de relieve fue el sombreado, que ya se aplicaba en los mapas dibujados en perspectiva para provocar la ilusión óptica del relieve. En efecto, cualquier cuerpo expuesto a la luz presenta unas partes más o menos iluminadas y otras en sombra, lo cual contribuye a la percepción de su volumen. Durante el siglo XVIII se representó el relieve plásticamente por medio del sombreado. En los mapas y planos originales, por lo general iluminados en colores a la acuarela, se conseguían las sombras por manchas de color más o menos oscuras según la orientación y la pendiente estimada de las laderas.

Líneas de máxima pendiente: Este procedimiento empezó a utilizarse en la segunda mitad del siglo XVIII. Consistía en dibujar las líneas de máxima pendiente de las laderas desde las divisorias a las vaguadas. Permitía efectos de sombreado juntando más o menos las líneas o engrosando sus trazos, pero sin tener en cuenta las reglas de iluminación oblicua. El sistema no refleja las formas reales del terreno, ni las diferencias de altitud, ni el valor de las pendientes. No había ninguna regla para relacionar la intensidad de las sombras de las líneas con el valor de las pendientes.

Para dibujarlas, los topógrafos no tomaban ninguna medida de nivelación sobre el terreno ni determinaban cotas aisladas, sino que se limitaban a esbozar la dirección de las líneas en el momento del trazado, por lo que su representación sólo poseía un valor cualitativo, nunca cuantitativo. Era adecuado para representar terrenos montañosos y depresiones alargadas y estrechas, pero fallaba en los suelos ondulados -en los que el relieve quedaba exagerado- y en las llanuras con modestas elevaciones aisladas.

Curvas de configuración horizontal del terreno: Son el precedente de las curvas de nivel. Simulan la intersección del terreno con planos horizontales y manifiestan las inflexiones del suelo con sus entrantes y salientes. Se croquizaban sobre el propio terreno en el curso de los levantamientos y después, en el posterior dibujo del mapa se combinaban, a veces, con las líneas de máxima pendiente, con el sombreado, o con ambos a la vez.

3. Los proyectos de ingeniería civil en el siglo XVIII

En el siglo XVIII, cuando se redactaban proyectos de ingeniería civil o militar, se estudiaba la topografía del lugar. El proceso de los ingenieros militares para levantar fortalezas era un ejemplo de precisión y un modelo para las demás obras públicas. En su *Tratado de Fortificación*, Sánchez Taramás, lo describe:

“Quando el Soberano resuelva la construcción de una Fortaleza, es necesario que un ingeniero pase a examinar el Terreno donde se ha de establecer, levantando su correspondiente Plano con especial cuidado y exactitud, dándole proporcionada escala para que comprenda à lo menos hasta el alcance del Cañon sobre las Obras mas avanzadas; junto con varios Perfiles, que expresen bien las desigualdades, y naturaleza del Terreno. Asimismo, si hubiese en las inmediaciones de la Plaza algun Rio, Mar, ò Lago, no solo se ha de marcar la extensión, y margenes del agua en todo lo que diga relacion al Mapa; sino tambien se ha de señalar el sondè, ò medicion de sus profundidades, à fin que se pueda hacer concepto de la clase de Embarcaciones que admitirà. Igualmente se ha de señalar con claridad y primor, asi los Montes ò Terrenos elevados que se encuentren, como las Cercas ò Vallados, y Caminos hondos que se comprendan en aquel espacio; notando entrambas circunstancias en el Plano, y los Perfiles, para que la irregularidad del Terreno sea distintamente representada”.

Terminado el levantamiento topográfico con los planos y perfiles del terreno, los “presentarà al Ingeniero al Gefe de quien haya recibido la comision; el qual nombrarà otros tres, ò quatro Ingenieros de los mas habiles, para que vuelvan à examinar, y reconocer el Terreno, confrontando con èl, y sus particularidades, corrigiendo lo que no hallen bien representado y explicado: y quando todos estèn perfectamente instruidos, formaràn de comun acuerdo el Plano de las Fortificaciones. Despues que todos estèn convencidos en un dictamen, deberàn formar un nuevo Plano, y sus correspondientes Perfiles sobre escalas sensibles, para que se manifiesten, y perciban con claridad todas las circunstancias del Proyecto”.

A continuación, reproduciremos los planos de alguna de las obras de ingeniería española más significativas del siglo XVIII, agrupadas por especialidades, con el sistema utilizado para representar el relieve del terreno en el entorno de la obra.

3.1. Fortificaciones

En el siglo XVIII, con la creación de las Academias Militares, tuvo un gran auge el desarrollo de las fortificaciones. Se editaron numerosos tratados para el levantamiento de planos de los edificios civiles y militares. Para detallar estas construcciones se determinaban planos de perspectivas, alzados y secciones donde se definían las diferentes partes de la edificación, así como los taludes de terraplenes y desmontes. En la fig. 1, se muestra una lámina del tratado de Antonio Gabriel Fernández, Profesor en el Real Seminario de San Telmo, para el uso de los caballeros Guardias marinas, sobre la forma de levantar los planos para representar el terreno.

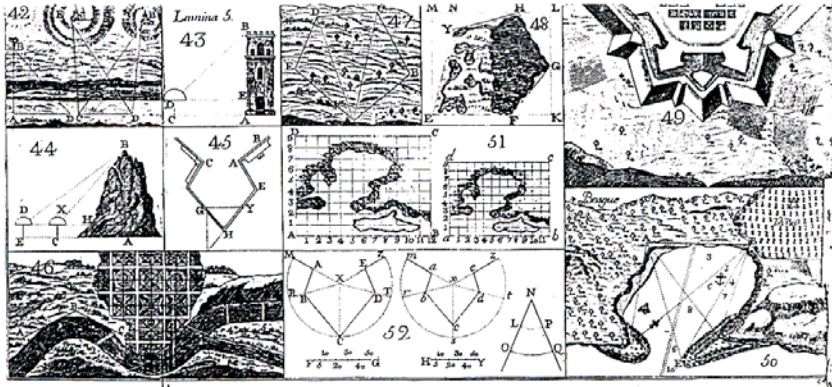


Figura 1.- Representación del terreno. Antonio Gabriel Fernández, 1778.

3.2. Puentes

En el segundo tomo del tratado de Sánchez Taramás, sobre los puentes de piedra, puertos, esclusas, canales de navegación, etc., incluye láminas con puentes de mampostería. Esos puentes aunque son anteriores al XVIII, se ponen como ejemplo de esbeltez y belleza, como el de Almaraz (fig. 2) en el que contrasta la exactitud en el dibujo de planta y alzado, con la imprecisión en la representación del terreno, algo común a los planos de la época ya que todavía no se conocía el Sistema Acotado. En la planta el relieve del terreno se representa con curvas de configuración horizontal.

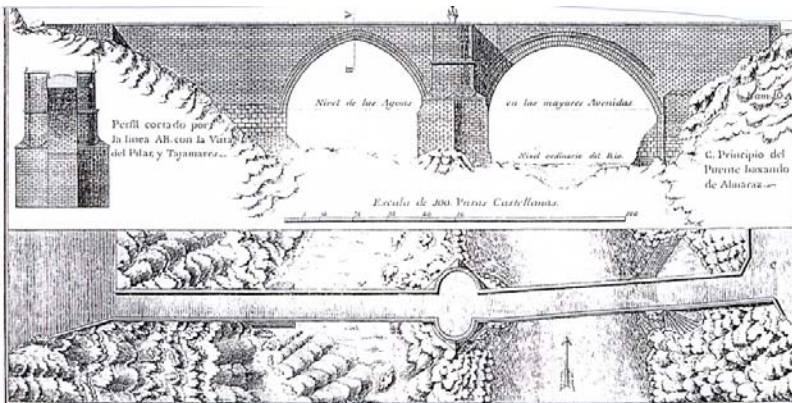


Figura 2: Puente de Almaraz. 1552. Sánchez Taramás, 1769.

3.3. Caminos

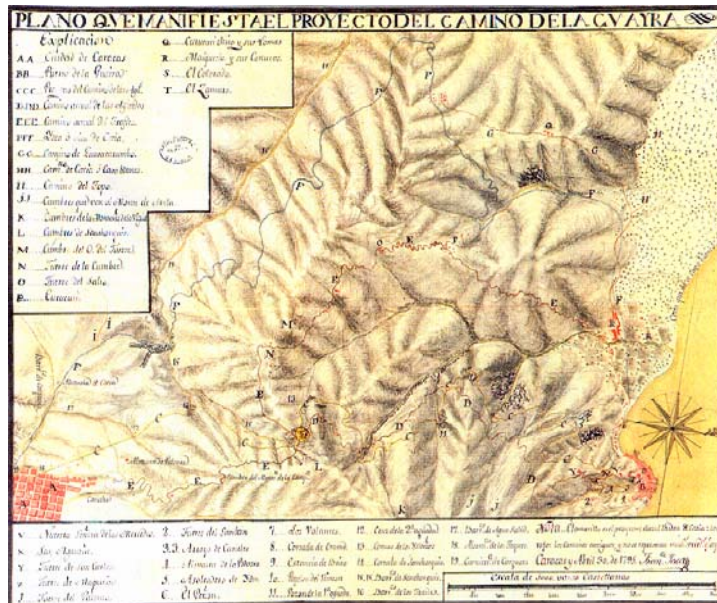


Figura 3: Camino entre La Guaira y Caracas. F. Jacot. 1795
 Archivo General de Indias, Venezuela, n° 235.

Camino entre La Guaira y Caracas

El “Camino Real” entre Caracas y La Guaira, principal puerto de exportación de cacao, fue un camino de gran importancia en la época colonial. Tenía cinco leguas y se podía recorrer, montando buenas mulas, en tres horas en sentido ascendente, desde La Guaira a Caracas, y tan sólo dos en sentido contrario. En un principio, fue un difícil camino con fuertes pendientes y pasos peligrosos que, a lo largo del virreinato, se amplió y se empedró para evitar el polvo y el barro, aunque no llegó a ser transitado por cuadrillas de carros. La pavimentación del camino se realizó a finales del XVIII bajo la dirección del ingeniero militar Francisco Jacot. El relieve del terreno se representa con líneas de máxima pendiente combinadas con sombreado e iluminación procedente del mediodía.

3.4. Puertos.

Arsenal de El Ferrol.

La elección, en el reinado de Felipe V, de la ría de El Ferrol para emplazar el Arsenal de la Armada, supuso la ubicación en la ciudad, en 1749, del Departamento Marítimo del Norte. Desde los años treinta del siglo se elaboraron diferentes proyectos para ubicar el astillero y el nuevo puerto, eligiéndose el frente de la ciudad como emplazamiento definitivo. En el plano, aparece dibujada la línea de litoral en verde y, en amarillo, el límite de navegación segura para no embarrancar. Aunque no aparecen puntos batimétricos, esa línea hubiera sido imposible de trazar sin haberlos tomado. El relieve del terreno se representa con sombreado con luz de poniente.

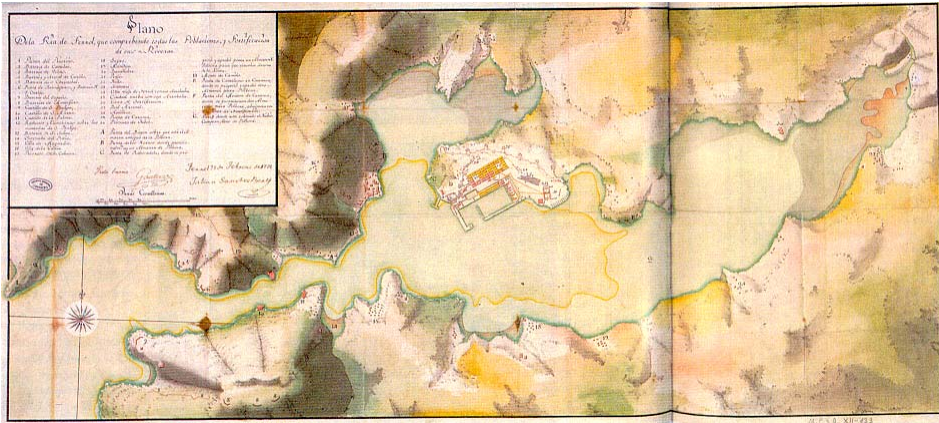


Figura 4: Planta Proyecto del Arsenal de El Ferrol. Julián Sánchez Bort. 1765. Archivo General de Simancas, M.P. y D., IV-92.

Astillero de Mahón

La planimetría del astillero es rigurosa y la altimetría está limitada a algunas cotas batimétricas en las proximidades de la costa. El relieve del terreno se representa mediante curvas de configuración horizontal.

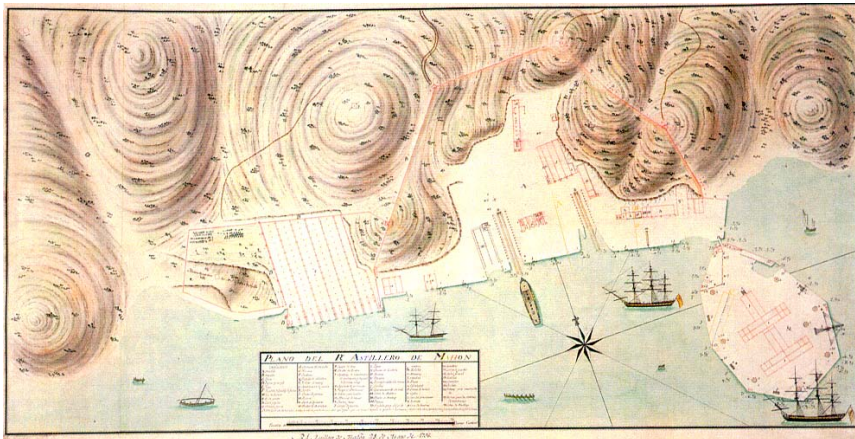


Figura 5: Real Astillero de Mahón. M. Berstenenz. 1796. SGE., Islas Baleares, n° 146.

3.5. Obras hidráulicas

Abastecimiento de aguas a Santiago de Chile

Fue la obra más notable de la ingeniería hidráulica colonial. Ya en 1571, se contempló la posibilidad de construir un canal para trasvasar las aguas del río Maipo al Mapocho, pero hasta el siglo XVIII no se hizo realidad. El primer proyecto terminado en 1766, fue un fracaso por la excesiva pendiente longitudinal del canal que al entrar en servicio erosionó el cauce y los taludes, demasiados escarpados, provocando derrumbes que lo inutilizaron.

En 1796, el ingeniero militar Agustín Cavallero, hizo un proyecto realista del que se conservan varios planos (fig. 6). Cavallero proyectó un trazado deliberadamente ondulante para conseguir mayor longitud de recorrido y así reducir la pendiente media y disminuir la velocidad del agua, con lo que se evitaba la erosión causa fundamental de los anteriores fracasos. Las obras se terminaron en 1816. Desde entonces y hasta hoy, su importante caudal ($13 \text{ m}^3/\text{sg.}$) fertiliza las resacas tierras cercanas a la capital, sin haber sufrido modificaciones importantes. La cordillera andina se representa de tres maneras: en planta mediante curvas de configuración horizontal, en el valle del río Maipo donde se inicia el canal; a vista de pájaro en la orilla izquierda del río; y en perfil abatido para simular su impactante presencia.

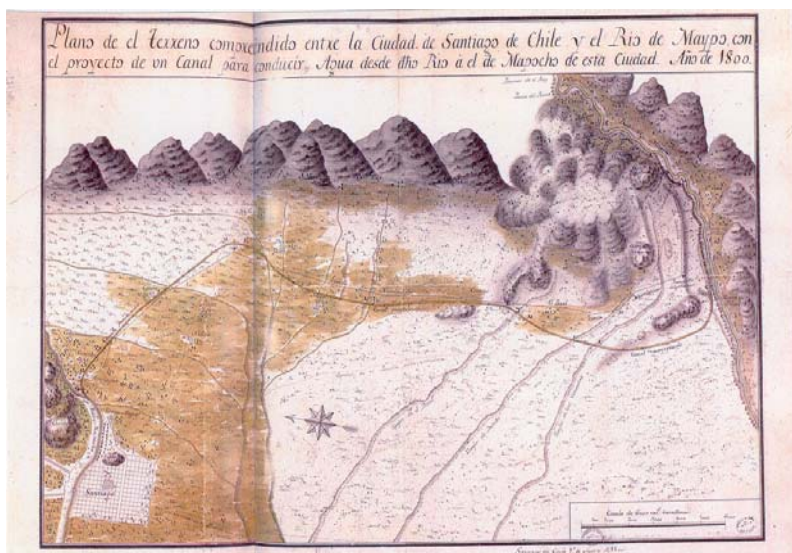


Figura 6: Abastecimiento a la ciudad de Santiago de Chile. Agustín Cavallero. 1800. Archivo General de Indias, Perú y Chile, n° 141.

Canal de Castilla

Para facilitar la exportación de los excedentes agrarios de la meseta castellana y romper su aislamiento físico y económico se pensó, ya en el siglo XVI, abrir canales de navegación y aprovechar para ello el caudal de los ríos de la zona. Se encargó el proyecto al ingeniero francés **Carlos Lemaur**. Partiendo de las aportaciones de Lemaur, Antonio de Ulloa preparó el proyecto de cuatro canales, que después quedaron convertidos en los tres ramales que hoy existen: el del norte, alimentado con las aguas del Pisuerga, que une Alar del Rey con Calahorra; el ramal de Campos, que se nutre de las aguas del río Carrión y une Calahorra con la dársena de Medina de Rioseco, y el tramo sur, que lleva sus aguas hasta la dársena de Valladolid.

Las obras comenzaron en 1753 y concluyeron en 1849, después de grandes dificultades técnicas, presupuestarias y de guerras. En el plano se definen las obras de fábrica proyectadas y se adjuntan las plantas de las localidades por las que discurre. Para representar el terreno se utilizan entre otros recursos las curvas de configuración horizontal.



Figura 7: Plano del Canal de Castilla. Carlos Lemaur y Juan de Homar. 1791. Archivo Ministerio de Fomento, OH-7.

Canal desagüe de México capital

En 1773, se consultó al científico Velázquez de León la posibilidad de llevar a cabo un desagüe de la cuenca de la Ciudad de México. Para estudiar su viabilidad, Velázquez de León realizó nivelaciones en toda la cuenca, utilizando tanto las técnicas convencionales como métodos de triangulación más modernos y exactos. Conocidos los resultados, se descartó la posibilidad de profundizar el viejo desagüe, inclinándose por la idea de construir uno nuevo. El perfil que levantó incluye escalas gráficas diferentes para las longitudes y alturas, de la misma forma que en la actualidad.

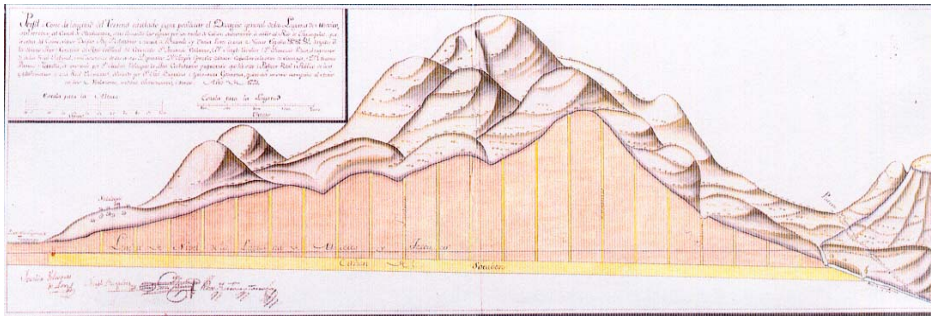


Figura 8: Perfil longitudinal del desagüe general de la laguna de México. Joaquín Velázquez de León. 1774. Servicio Geográfico del Ejército, México, n° 53.

4. Conclusiones o Consideraciones Finales

El siglo XVIII supuso un avance decisivo en el estudio y medida de la tierra, en el empleo de triangulaciones cada vez más densas y en el progreso de la Geodesia y de la Cartografía, considerada por entonces geométrica. En los documentos de las diferentes obras de ingeniería que se conservan, contrasta la exactitud de su planimetría con la imprecisión en la representación del terreno, algo común a los planos de la época ya que todavía no se conocían los procedimientos geométricos para representar con rigor la orografía. Los recursos intuitivos para representar las superficies topográficas: perfiles abatidos, perspectiva caballera, puntos acotados, sombreado, líneas de máxima pendiente y curvas de configuración horizontal, darán paso, a comienzos del XIX, a las normales y a las curvas de nivel. Estos dos métodos, especialmente el

segundo, se consolidarán definitivamente con la sistematización y difusión del Sistema Acotado en la primera década del siglo XIX.

El patrimonio documental español de planos de obras públicas civiles o militares del siglo XVIII, además de ser muy abundante, es de gran belleza porque ya se dominan perfectamente tanto las técnicas de levantamiento como las gráficas del lavado de planos. Es sorprendente la cantidad de obras que se hicieron en la América hispana en comparación con el escaso número del territorio peninsular.

Referencias

FERNÁNDEZ, Antonio Gabriel. *Compendio de la Geometría Elemental, Especulativa y Práctica. Forma de levantar, lavar los planos y modo de hacer las tintas para su manejo*. Sevilla, 1778.

GONZÁLEZ TASCÓN, Ignacio. *Ingeniería española en Ultramar (siglos XVI-XIX)*, Volumen II. Colegio Oficial de Ingenieros de Caminos, Madrid, 1992.

–*Obras Hidráulicas en América Colonial*. Madrid, 1993.

–*Puertos Españoles en la Historia*. Madrid, 1994.

LEÓN CASAS, Miguel Ángel, *El Sistema de Planos Acotados: Historiografía de un convencionalismo gráfico y su aplicación a la ingeniería civil*. Universidad de Granada, Granada, 2000.

LEÓN CASAS, Miguel Ángel; SAN ANTONIO GÓMEZ, Carlos de; ALDAYA GARCÍA, Víctor Pablo; LEÓN ROBLES, Carlos. *La representación de la orografía del territorio a lo largo de la historia*. Actas XIII Congreso Ingegraf, Badajoz, 2001.

PALADINI, Ángel. “La representación del relieve en los mapas a lo largo de la Historia”. *Servicio Geográfico del Ejército. Boletín de Información* pp.11-49, nº 72. Primer semestre, 1991.

ROULEAU, Bernard. *Methodes de la Cartographie*. CNRS. París, p.127.

RUMEU DE ARMAS, Antonio. *Ciencia y Tecnología en la España Ilustrada. La Escuela de Caminos y Canales*. Madrid, 1980, pp. 60-61.

SAN ANTONIO, C., CARDONE, V.; IANNIZZARO, V.; LEÓN CASAS, M A., *El Álbum Royaume de Naples: Un ejemplo de la representación arquitectónica y cartográfica en los albores del siglo XVIII*, Abstracts and CD, Convegno XIII ADM–XV Ingegraf, Napoli, 2003.

SAN ANTONIO GÓMEZ, Carlos de, LEÓN CASAS, Miguel Ángel, *La cartografía aplicada a la representación de las obras públicas españolas. Siglos XVI y XVII*. Actas XIV Congreso Ingegraf, Santander, 2002.

SÁNCHEZ TARAMÁS, Miguel. *Tratado de Fortificación, o Arte de construir los Edificios Militares y Civiles*, Tomos primero y segundo. Barcelona, 1769.