

TOPOGRAFÍA, MEDIANTE HERRAMIENTAS DIGITALES FRENTE AL MÉTODO TRADICIONAL

TOPOGRAPHY, USING DIGITAL TOOLS VERSUS THE TRADITIONAL METHOD

Carlos Losada-Pérez⁽¹⁾, Antonio Pernas-Varela⁽²⁾

¹ Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica, A Coruña, España, c.losada@udc.es

² Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica, A Coruña, España, antonio.pernas.varela@udc.es

RESUMEN

Las Herramientas Digitales se utilizan en la docencia de muchas materias del Grado de Arquitectura Técnica, en particular en la materia de Topografía. Su utilización tiene como objetivo principal: mejorar la capacidad de aprendizaje de los alumnos de las diferentes metodologías topográficas.

El docente analiza el éxito de sus alumnos al finalizar el período docente, mediante una prueba global o bien pruebas parciales de contenidos en el caso de evaluación continua. La incorporación paulatina de herramientas digitales en la enseñanza permite el análisis de los resultados en la asimilación de los contenidos de la materia impartida y la capacidad de resolución de problemas.

La enseñanza de la asignatura de topografía requiere aprender a resolver metodologías alimétricas y planimétricas por parte de los alumnos. Estos métodos pueden resolverse, a su vez, de forma gráfica y analítica.

Hace una década la resolución gráfica de los ejercicios se proponía utilizando una regla centimétrica y un transportador angular; la resolución analítica se limitaba al papel y bolígrafo, con la única ayuda de una calculadora científica.

La utilización de una herramienta gráfica como AutoCAD permite la resolución gráfica, mientras que la utilización de la hoja de cálculo hace más eficiente la resolución analítica.

El análisis de la idoneidad de la introducción de herramientas digitales se realiza desde diferentes perspectivas: tiempo invertido, comprensión del método y aceptación por parte del alumnado.

La introducción de herramientas digitales se aprecia imprescindible en los tiempos actuales; su rechazo desde la óptica docente es comúnmente debida a la costumbre por el empleo tradicional del lápiz y el papel, así como por la consecución de los objetivos de partida por parte de los alumnos.

El cambio de método tiene consecuencias evidentes que no debemos pasar por alto.

Palabras clave: Topografía, Métodos topográficos, Herramientas digitales

ABSTRACT

Digital tools are used in the teaching of many subjects in the Degree in Technical Architecture, particularly in Topography. Their main objective is to improve students' learning ability in different topographical methodologies.

The instructor analyzes their students' success at the end of the teaching period, using a comprehensive test or partial content tests in the case of continuous assessment. The gradual incorporation of digital tools into teaching allows for the analysis of results in the assimilation of the subject matter taught and problem-solving skills.

Teaching topography requires students to learn how to solve altimetric and planimetric methodologies. These methods can, in turn, be solved graphically and analytically.

A decade ago, graphical solutions for exercises were proposed using a centimeter ruler and a protractor; meanwhile, analytical solutions were limited to pen and paper, with the sole aid of a scientific calculator.

The use of a graphical tool such as AutoCAD allows for graphical solutions, while the use of a spreadsheet makes analytical solutions more efficient.

The analysis of the suitability of introducing digital tools is carried out from different perspectives: time invested, understanding of the method, and student acceptance.

The introduction of digital tools is seen as essential in modern times; their rejection from the teaching perspective is commonly due to the habit of traditionally using pencil and paper, as well as the students' failure to achieve the initial objectives.

This change in method has obvious consequences that we should not overlook.

Keywords: Topography, Topographic Methods, Digital Tools

1. INTRODUCCIÓN

La enseñanza de la materia de topografía se enfoca a la resolución de metodologías planimétricas y altimétricas que el alumno debe ser capaz de comprender, dominar. Los métodos de resolución se enfocan desde dos puntos de vista principales: gráfico y analítico.

La resolución por procedimientos gráficos ha estado afectada por la apreciación gráfica, la escala de representación y la pericia, influida a su vez por la calibración de los equipos auxiliares de medida: regla centimétrica y el transportador angular.

Por otro lado, la resolución analítica requiere un conocimiento básico de trigonometría y un tiempo de desarrollo de ecuaciones y cálculo, cuyo planteamiento en el aula es seguido con dificultad por el alumno en ocasiones.

La introducción de herramientas digitales para el dibujo como AutoCAD, o para el cálculo como Excel, conlleva importantes modificaciones en los métodos de enseñanza por parte del docente y de aprendizaje por parte del alumno.

2. OBJETIVOS

Como objetivo principal:

- × proponer una metodología de enseñanza más eficaz para el dominio de la disciplina de topografía, más comprensible por parte del alumnado y con mayor conocimiento de la veracidad de sus resultados.

Objetivos secundarios:

- × Proponer métodos gráficos de resolución de metodologías planimétricas.
- × Proponer métodos gráficos de resolución de metodologías altimétricas.

3. METODOLOGÍA

En primer lugar, se analizan los métodos de enseñanza de alguna metodología planimétrica y altimétrica, sin ayuda de herramientas digitales.

A continuación, se plantea la introducción de herramientas gráficas (AutoCAD), representando los datos de partida y lecturas de campo, obteniendo los resultados como solución al problema. Con ayuda de una hoja de cálculo (Excel) se determinan y comparan las coordenadas de los puntos principales.

Se analizan los resultados de las evaluaciones de conocimientos de los alumnos desde el curso académico 2013/2014 hasta la actualidad en la primera oportunidad de junio. Con anterioridad al curso 2019/2020 se resolvían todos los ejercicios gráficamente a mano y se obtenían resultados analíticos con ayuda exclusiva de

una calculadora científica. En cambio, desde el curso académico 2021/2022 se introdujo AutoCAD y Excel como herramientas básicas de resolución de ejercicios, alcanzados unos conocimientos básicos de topografía a mitad de curso.

4. MÉTODOS PLANIMÉTRICOS

4.1 Intersección Inversa

“En la intersección directa, para levantar un punto se hace estación en los extremos de la base... En la intersección inversa se estaciona en el punto que ha de levantarse y no es necesario estacionar en los extremos” (García-Tejero, 1997)

El método de intersección inversa se generaliza para dotar al punto de estacionamiento de coordenadas, tras la colimación de los extremos de la línea base conocida, debido a la mejora en la precisión de la distancia horizontal de medida con las estaciones totales.

En la Tabla 1 se recogen los datos de las lecturas de campo, siendo conocida la base E1_R1. Tras la determinación de la posición R2, se traslada la estación a E2 desde donde se realiza la intersección inversa.

Tabla 1. Lecturas angulares y distancias medidas desde las posiciones E1 y E2 a dos puntos de referencia

Estación	Visado	Ángulo horizontal	Ángulo vertical	Distancia horizontal	m	I	Código
E1	301_R1	364,7362	115,704	13,06	0,30	1,62	Referencia
	302_R2	50,2118	110,1706	12,262	0,48	1,62	Referencia
E2	401_R2	161,54	78,875	11,658	2,63	1,62	Referencia
	402_R1	266,599	83,1234	9,846	2,45	1,62	Referencia

La resolución gráfica es muy simple, pues se determina el punto de estación mediante la intersección de dos circunferencias trazadas con centro en los puntos visados. Sin embargo, la resolución analítica requiere el cálculo de los ángulos interiores del triángulo, aplicando el teorema del coseno, siendo conocidos los lados, por medición de las distancias horizontales a sendos puntos de coordenadas preestablecidas.

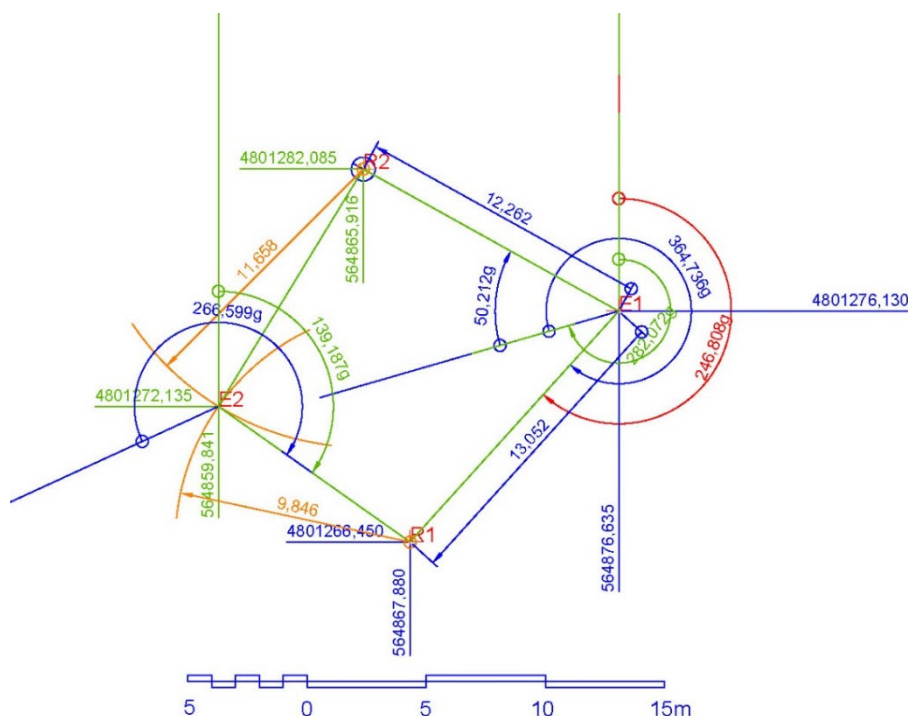


Figura 9 Intersección inversa realizada para el cálculo de la posición E2, conocidas las coordenadas de los puntos R1 y R2. Representación a escala 1/300

4.2 Itinerario planimétrico. Método de poligonación

“Por causa de la distancia o de la visibilidad es difícil trasladarse de un vértice a otro con una sola radiación, por lo que hemos de encadenar sucesivas radiaciones. Bien con este fin o con el de densificar la red de vértices para su utilización posterior [...] se recurre al método de itinerario o poligonación”. (Carrero, 1996)

El itinerario planimétrico genera un polígono en el que se miden los ángulos interiores y las distancias de los lados, tras el estacionamiento del equipo topográfico en cada uno de sus vértices. Su resolución implica la compensación del error angular de medida y el error lineal.

El procedimiento analítico es laborioso y requiere establecer criterios de compensación de los errores obtenidos en el cálculo.

Tabla 2. Lecturas angulares y distancias medidas de los ejes de un itinerario planimétrico. Cálculo y compensación del error angular

Estación	P. visado	Ángulo horizontal (g)		Distancia horizontal (m)		Ángulo horizontal (g)		Ángulo interior (g)	
		cd	ci	cd	ci	promedio	diferencia	giro	compensación
V1	REF	254,087	54,085			254,086	0,001	254,075	
V1	V4	0,000	200,022	27,493	27,492	0,011	0,011	0,000	
	V2	81,181	281,200	45,953	45,946	81,1905	0,009	81,180	81,168
V2	V1	0,000	199,995	45,952	45,954	-0,0025	0,002	0,000	
	V3	118,997	318,997	83,691	83,691	118,997	0,000	119,000	118,988
V3	V2	0,000	199,975	83,641	83,700	-0,0125	0,013	0,000	
	V4	35,869	235,866	82,428	82,432	35,8675	0,001	35,880	35,869
V4	V3	0,000	199,995	82,441	82,419	-0,0025	0,002	0,000	
	V1	163,983	363,983	27,471	27,472	163,983	0,000	163,986	163,974
suma								400,045	400,000

En la Tabla 2 se recoge un ejemplo de las lecturas angulares realizadas en los círculos directo e inverso, su promedio Bessel, así como el cálculo del ángulo interior de los lados del polígono. El error angular e_θ en un recorrido cerrado se obtiene por diferencia entre la suma de los ángulos interiores α_i respecto del valor exacto, siendo N el número de vértices:

$$e_\theta = \Sigma \alpha_i - 200 (N - 2) = 0,045g \quad (1)$$

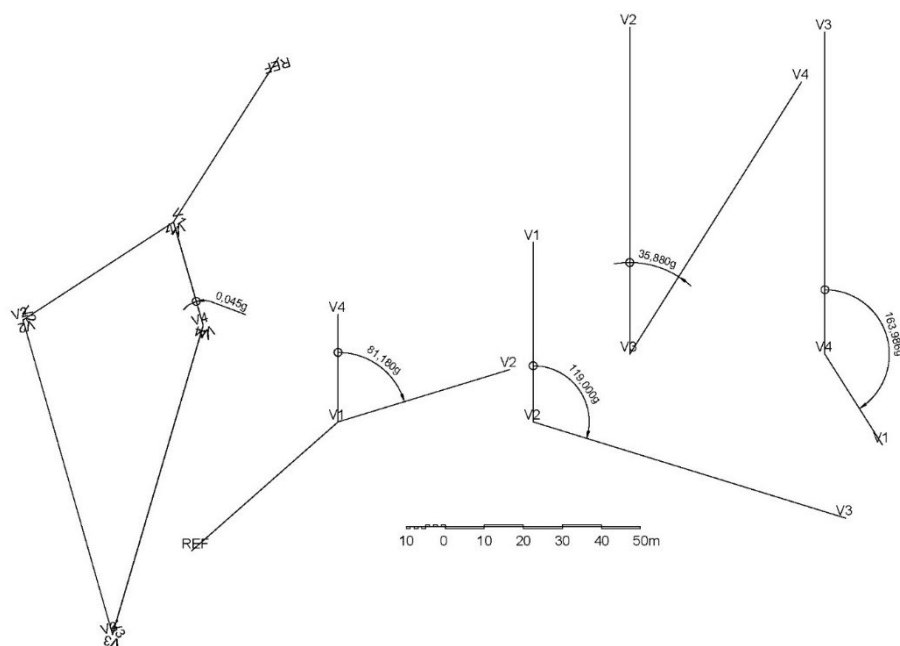


Figura 10 Error angular medido gráficamente. Representación a Escala 1/1500

La figura de la izquierda se compone de los ángulos representados a la derecha, realizado el cálculo del promedio Bessel, trasladados y girados. El promedio Bessel se calcula corrigiendo el ángulo leído en CI con $\pm 200g$:

$$Lh_{Bessel} = \frac{Lh_{CD} + Lh_{CI} \pm 200g}{2} \quad (2)$$

Tabla 3 Orientaciones de los ejes y distancias promedio. Cálculo de las coordenadas relativas compensadas

Estación	P. visado	Desorientación /orientación (g)		Distancia horizontal (m)		Coordenadas relativas		Coordenadas relativas compensadas	
		desorienta.	orienta.	promedio	desviación	x	y	x'	y'
V1	REF	182,141	36,216					992,721	1552,613
V1	V4	182,141	182,141						
	V2		263,309	45,951	0,011	-38,529	-25,041	-38,538	-25,041
V2	V1	63,309	63,309						
	V3		182,298	83,681	0,003	22,970	-80,466	22,961	-80,466
V3	V2	382,298	382,298						
	V4		18,167	82,430	0,023	23,204	79,097	23,195	79,097
V4	V3	218,167	218,167						
	V1		382,141	27,482	0,008	-7,609	26,408	-7,618	26,409
Suma:				e. lineal		0,037	-0,003	0,000	0,000

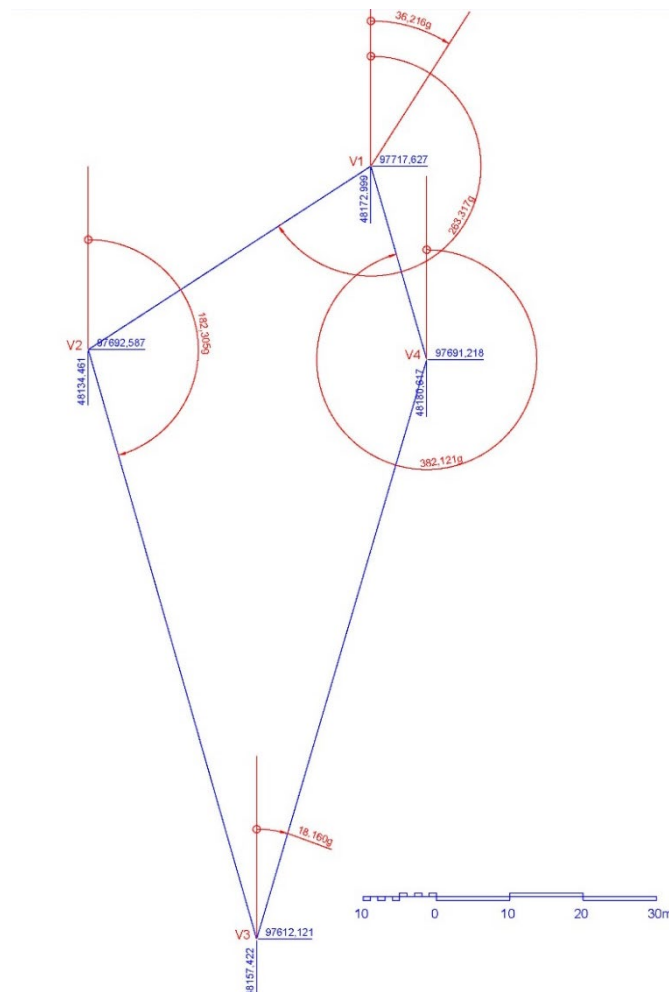


Figura 11 Coordenadas del polígono y orientaciones de los ejes resultantes. Representación a escala 1/1000

5. MÉTODOS ALTIMÉTRICOS

5.1 Método del punto medio

El método del punto medio se basa en la corrección de la esfericidad terrestre, la refracción atmosférica y la inclinación de la visual horizontal, cuando el operador sitúa el instrumento a distancias similares respecto de sendas miras colocadas verticales en los puntos donde se pretende obtener el desnivel.

Realizado con un equialtímetro (nivelación geométrica), o bien con una estación total (nivelación trigonométrica). *“El equialtímetro alcanza mayor precisión en todos los casos y si el campo de visión es grande, próximo a la horizontal, es más rápido que la estación total”.* (Villena, 2001)

El desnivel se haya con ecuaciones simples; si bien, es frecuente la confusión en el orden de colocación de las lecturas a la hora de su cálculo, lo que genera errores inadmisibles de ejecución y falta de confianza entre el personal técnico.

La ecuación general de nivelación trigonométrica establece el desnivel obtenido ΔZ_A^B por diferencias entre las alturas de horizonte t y las alturas de mira m de los puntos extremos:

$$\Delta Z_A^B = t_B - t_A + m_A - m_B \quad (3)$$

$$\text{Siendo: } t = \frac{Dh}{\tan Lv} \quad (4)$$

5.2 Itinerario altimétrico

Cuando los puntos entre los cuales se pretende obtener un desnivel se encuentran muy alejados, se plantea un recorrido con puntos de paso más cercanos, entre los que sí es viable la nivelación simple, con doble lectura de espalda y frente.

La suma de todos los desniveles encadenados conlleva al cálculo del desnivel total, sabiendo que éste ha de ser próximo a cero en un recorrido cerrado.

Es costumbre el cálculo del desnivel por estaciones recíprocas, aun cuando en éstas se inducen errores en la determinación de la altura del instrumento. *“La nivelación trigonométrica compuesta está unida al itinerario planimétrico, que se realiza de forma conjunta”*, (Torío & Piña Patón, 1996) siendo ésta la razón única del establecimiento de este método.

Tabla 4 Lecturas de campo de un itinerario altimétrico

Estación	P. Visado	Ángulo vertical (g)		Distancia horizontal (m)		Alturas (m)	
		cd	ci	cd	ci	m	i
V1	V4	97,907	302,089	27,493	27,492	1,41	1,47
	V2	105,665	294,301	45,953	45,946	1,41	1,47
V2	V1	94,641	305,350	45,952	45,954	1,41	1,61
	V3	90,874	309,128	83,691	83,691	1,41	1,61
V3	V2	109,375	290,621	83,641	83,700	1,41	1,56
	V4	105,695	294,304	82,428	82,432	1,41	1,56
V4	V3	94,509	305,492	82,441	82,419	1,41	1,55
	V1	101,423	298,573	27,471	27,472	1,88	1,55

En AutoCAD puede representarse el recorrido a escala natural con los ángulos verticales, distancias, altura de mira, de instrumento, altura de horizonte, desniveles y cotas o altitudes, acotados para comprobar la veracidad de los resultados obtenidos.

El desnivel promedio se obtiene entre sendos desniveles; su sumatorio expresa el valor del error medido en un itinerario cerrado, el desnivel conocido en uno encuadrado. Su reparto obedece entre los diferentes desniveles da como resultado los desniveles compensados y el establecimiento de unas cotas o altitudes definitivas.

Tabla 5 Cálculo de los desniveles en un itinerario altimétrico

Estación	P. Visado	Ángulo vertical (g)		Distancia horizontal (m)		Desnivel (m)		Cota (m)		
		Prom.	Dif.	Prom.	Dif.	t	z	Prom.	Dif.	Z
V1	V4	97,909	0,002	27,493	0,000	0,903	0,963			
	V2	105,682	0,017	45,950	0,004	-4,112	-4,052	-4,063	0,011	115.089
V2	V1	94,6455	0,004	45,953	0,001	3,874	4,074			
	V3	90,873	0,001	83,691	0,000	12,081	12,281	12,273	0,009	127.362
V3	V2	109,377	0,002	83,671	0,029	-12,414	-12,264			
	V4	105,6955	0,001	82,430	0,002	-7,394	-7,244	-7,256	0,012	120.106
V4	V3	94,5085	0,001	82,430	0,011	7,128	7,268			
	V1	101,425	0,002	27,472	0,000	-0,615	-0,945	-0,954	0,009	119.152
e. cota								0,000		

En la figura 4 se representa el recorrido y las lecturas realizadas desde los vértices intermedios V2 y V4, no afectados de la falta de precisión en la medida de la altura del instrumento. Se representa realizado, sin embargo, se prefiere la escala natural para medir y comprobar los ángulos cenitales. A la cota vertical medida en V3 únicamente falta corregirla con la parte proporcional del error en Z.

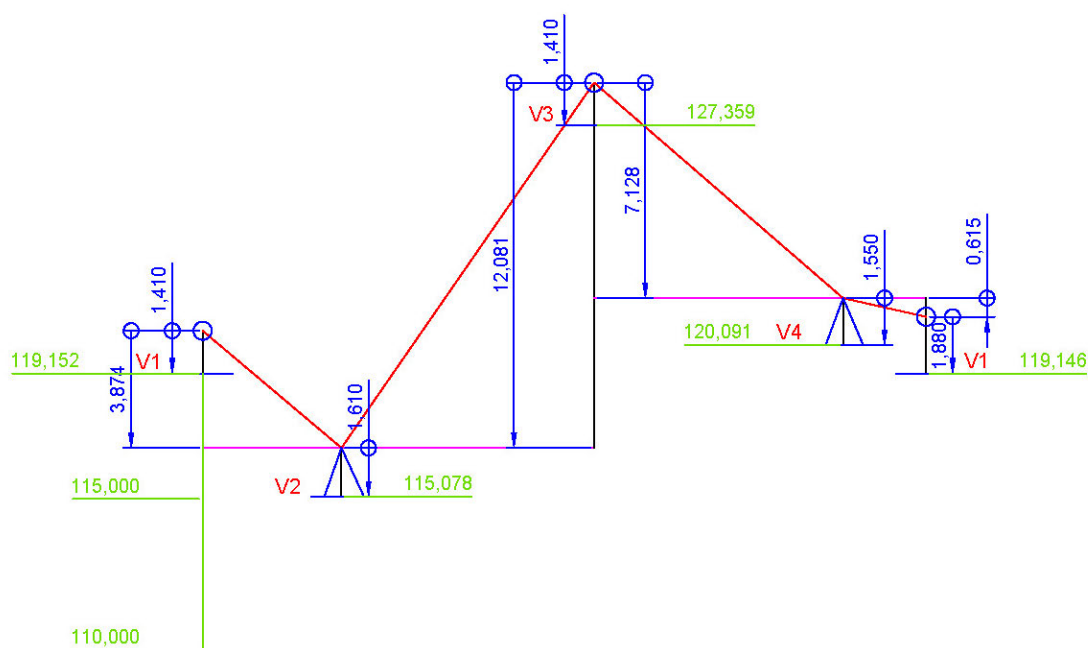


Figura 12 Representación del itinerario altimétrico realizado, desde las posiciones V2 y V4, por nivelación trigonométrica. Escala vertical 1/250; escala horizontal 1/2500

El error de cierre se obtiene acotando la distancia vertical entre las posiciones final e inicial de V1 (6mm). Su compensación en el punto V3 arroja el mismo resultado anterior, a pesar de resolverlo gráficamente utilizando únicamente la mitad de las lecturas.

6. PRUEBAS DE EVALUACIÓN

6.1 Sin herramientas digitales, hasta el curso 2018/2019

La parte principal de la prueba de evaluación de la materia de topografía en la escuela de Arquitectura Técnica de A Coruña ha versado sobre la comprensión de los métodos planimétricos y altimétricos, con un 70% de la calificación los primeros y un 30% los segundos.

Los alumnos se enfrentaban a un listado de lecturas de campo aportadas y se les requería el cálculo de coordenadas cartesianas de unos puntos destacados, así como desniveles y cotas.

Durante años, los estudiantes realizaron procedimientos de cálculo más o menos complejos en base a diferentes metodologías estudiadas. Debían interpretar los datos, realizar croquis a mano con las lecturas y comprobar los resultados obtenidos matemáticamente.

La tasa de éxito, entendida como la relación entre el número de alumnos que supera la materia, frente al matriculado, promediada entre los cursos 2013/2014 y 2018/2019, fue del 33% en la convocatoria de junio. Ascende al 50% si se compara con los alumnos que se presentan al examen. Si bien se aprecia un descenso paulatino en el número de alumnos matriculados, las tasas de éxito relativo son similares.

Tabla 6. Resultados en la asignatura de Topografía del Grado en Arquitectura Técnica de la UDC. Convocatoria de junio

trienio	matriculados	no presentados	suspensos	aprobados	% aprobados/ matriculados	% aprobados/ presentados
2013/2016	116	36	41	39	36	50
2016/2019	43	17	13	13	31	51
2019/2022	26	5	1	19	77	93
2022/2025	25	4	6	15	62	73

6.2 Con herramientas digitales, desde el curso 2022/2023

La prueba de evaluación se ha mantenido desde el curso 2019/2020, si bien ha estado muy alterada como consecuencia de la pandemia, y sobre todo por la imposición de una evaluación a distancia en junio de 2020. Los años posteriores el docente incluyó más trabajos de grupo que fueron reduciendo su peso de manera paulatina hasta cubrir únicamente el 20% de la calificación.

Desde el curso 2022/2023 se introdujeron herramientas digitales en la explicación y desarrollo de problemas topográficos; si bien, únicamente desde el curso 2023/2024 se permitió la utilización de ordenadores durante la evaluación. En cualquier caso, a los alumnos se les pidió la resolución de problemas topográficos de manera gráfica y analítica.

La tasa de éxito entre los cursos 2022/2023 y 2024/2025 ha sido de un 62% de los alumnos que superaron la materia, en relación al número estudiantes matriculados en la asignatura; de un 73% respecto de los estudiantes presentados a la prueba de la evaluación, en la convocatoria de junio.

7. RESULTADOS

La utilización de un programa de AutoCAD permite la realización de procedimientos gráficos para la obtención de coordenadas precisas. La programación en una hoja de cálculo se utiliza para la comprobación de los resultados gráficos. La croquización a mano sirve para la obtención de coordenadas aproximadas en metros.

La tasa de éxito en el trienio 2022/2025 se incrementó un 100% si se toma como referencia el número de alumnos matriculados; un 50% si se compara con los alumnos que se enfrentan a la prueba de aptitud. Los exámenes plantearon problemáticas similares, por lo que el resultado se aprecia significativo a pesar de que la población de estudio es reducida.

8. CONCLUSIONES

La utilización de un programa de CAD permite la realización de procedimientos gráficos para obtención de coordenadas precisas. La programación en una hoja de cálculo permite la comprobación de los resultados gráficos, invirtiendo el procedimiento anteriormente utilizado por el docente hace una década: comprobación del proceso de cálculo mediante el dibujo a mano, impreciso y limitado por la escala de representación.

La introducción de herramientas digitales de uso común como CAD y Excel en una asignatura de segundo curso como topografía permite al alumno desarrollar habilidades; si bien conlleva una merma en las capacidades de cálculo y desarrollo matemático.

Se aprecia un mayor rigor en el resultado obtenido, una mejor visualización del ejercicio, un mayor control de los errores de cálculo cometidos, y en resumen un mayor éxito de cara a la resolución de problemas topográficos.

Por el contrario, el manejo de ordenadores durante la realización de una prueba de evaluación permite al alumno saltarse las normas éticas de compromiso de realización del examen de manera autónoma. No están preparadas las aulas de informática debidamente puesto que se fomenta la interconexión y no el trabajo individual, lo que constituye una dificultad inasumible para el docente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICA

Carrero, J. (1996). *Topografía General de aplicación a geodestas militares*. Madrid: Ministerio de Defensa. Secretaría General Técnica.

García-Tejero, F. D. (1997). *Topografía general y aplicada*. Madrid: Mundi-Prensa.

Torío, R. F., & Piña Patón, B. (1996). *Topografía aplicada a la ingeniería*. Santander: Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente. Instituto Geográfico Nacional.

Villena, I. d. (2001). *Topografía de Obras*. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.