

EL NIVEL ATRIBUIDO A JUAN DE HERRERA Y SU FUNDAMENTO GEOMETRICO

MARIANO ESTEBAN PIÑEIRO
M^ª ISABEL VICENTE MAROTO
Universidad de Valladolid

RESUMEN

En este trabajo se da noticia de un instrumento de nivelación atribuido al arquitecto real Juan Herrera. Se estudia el fundamento geométrico del citado Nivel tal como aparece en los dos textos de Geometría Práctica que lo tratan: La Geometría Práctica de Cristóforo Clavio y el Libro de instrumentos nuevos de Geometría del castellano Andrés García de Céspedes.

Se comprueba que el matemático alemán incurre en errores en la justificación geométrica que presenta mientras que la demostración de Céspedes resulta ser correcta y elegante.

Los autores de este artículo elaboran la hipótesis fundamentada de que el Nivel de Herrera coincide con los de otros ingenieros españoles anteriores, Lastanosa y Esquivel, pero dotado de una escala altímetra más perfeccionada.

ABSTRACT

This paper reveals the existence of an instrument for leveling attributed to the royal architect Juan de Herrera. The geometric grounds of this "Nivel" are analyzed just as they appear in the two works about practical geometry: Geometría Práctica by Cristóforo Clavio and Libro de instrumentos nuevos de geometría, by the spanish Andrés García de Céspedes.

Through this paper, some faults in the demonstration of the german mathematician are discovered. On the contrary, Céspedes's demonstration is correct and elegant.

It is also showed the argued hypothesis that Herrera's Nivel is the same one that Lastanosa in his Veintiún libros... and Esquivel used in order to describe Spain but the altimeter scale is perfected in Herrera's instrument.

Palabras clave: Nivel, Instrumento, Herrera, Geometría, Ingeniería.

1. Los Niveles y sus diferentes tipos

Los instrumentos de nivel, tan indispensables en una gran variedad de obras de ingeniería, han adoptado innumerables formas desde la antigüedad. Ya Vitruvio, el célebre arquitecto romano de la época de Julio César y de Augusto -a quien dedica y destina su obra- en *Los diez libros de Arquitectura*¹, en el capítulo XI del libro octavo, *Del modo de nivelar las aguas, y de los instrumentos necesarios para ello*, se refiere a los niveles cuando explica el modo de llevar las aguas a las ciudades y habitaciones, avisando que el primer problema que había que resolver era el de la nivelación y añade:

"...Se nivela con el traguado o dioptrés, o con los niveles de agua, o con el corobate, que es el más seguro porque las dioptrés y los niveles se prestan a error".

A continuación ofrece con detalle la fabricación del que ha considerado como el instrumento más idóneo para la aludida nivelación, el corobate.

En la España del siglo XVI época en que, al igual que en el imperio romano, se emprenden grandes obras civiles, la traída de aguas era una constante preocupación resultando en la mayoría de las ocasiones tarea ardua y compleja. La primera operación a realizar, siguiendo a Vitruvio, era la nivelación del terreno, que se confiaba a personas experimentadas en esa labor, los llamados niveladores, aunque en los casos más delicados se recurría a ingenieros y matemáticos, por sus mayores conocimientos de Geometría, saberes éstos que los prácticos niveladores no poseían. La bondad de la nivelación, y por tanto el prestigio profesional del nivelador, dependía de la exactitud de las medidas de los desniveles existentes, y éstas lógicamente, de la precisión del instrumento utilizado, por lo que su construcción se mantenía habitualmente en riguroso secreto.

Secreto destacado por el célebre arquitecto italiano Leon Batista Alberti en su obra *L'Architettura*², en el Capítulo VII, libro décimo *Del modo del condurre le Acque & come elle si possimo accommodare a bisogni de gli huomini*, fol. 376 al 382, que contiene una referencia breve a los instrumentos necesarios para conducir agua (la Livella -el nivel- l'Archipenzolo, il Regolo y otros semejantes) y añade su autor:

"Esta es un arte muy secreta. Pero se hace con la mirada y con la vista".

Entre los diferentes tipos de niveles que hemos encontrado descritos en obras manuscritas o impresa, existen, como ya adelantamos, numerosas variantes, cada una con su propio nombre, pero con la característica común de

su gran tamaño, requisito imprescindible para conseguir una mayor precisión. En unos casos los autores de los tratados se limitan a explicar su forma y la mejor manera de construirlos y utilizarlos, sin detenerse en fundamentaciones geométricas, y en otros -los que corresponden a obras de geometría práctica- añaden la justificación matemática del instrumento.

Ejemplo singular de un texto conteniendo la descripción de diversos tipos de niveles es un ejemplar de la aludida traducción italiana de *L'Architettura* de Alberti, que se encuentra en la Sección de Estampas de la Biblioteca Nacional y en el que aparecen en los márgenes numerosas notas manuscritas en castellano y algunos dibujos realizados por un estudioso anónimo³. Concretamente en el citado Capítulo VII *Del modo del condurre le Acque...* hemos encontrado los instrumentos matemáticos más comunes en la época, con comentarios, a nuestro entender, sumamente interesantes: así, en el margen inferior del fol. 376, el desconocido glosador dibuja el nivel o corobate, el nivel de tranco, el nivel de grados, la dioptra, la esquadra geométrica, el cuadrante geométrico, el nivel de agua (o corobate), otro nivel cuadrado diferente, un nivel para suelos y un nivel de labradores. Es particularmente interesante el comentario manuscrito que el autor de los dibujos hace en el margen inferior del fol. 377 criticando a aquellos que sólo conocen un tipo de nivel, el de tranco:

"Si se entiende cierto que io me espanto de algunos hombres que dizen que en ninguna manera se puedeazer ninguna otra manera de nivel eceto aquel de tranco, yo verdaderamente creo q'estos tales están sus juizios ligados solo a una cosa solo, o que carecen de juicio o de envención estimando no poderseazer de otra suertes de niveles eceto el triángullo, ansi que verá aquí artos, todos diversos y todos azen bien su oficio, y otros muchos que se podría ir enventando de muy estranas maneras las cuales dexo por no usar de prolixida ny de confuçon de quien poco save".

Parece pues que el nivel de tranco era el tipo más comunmente utilizado. Se construía en madera a modo de una A, con las dos piernas formando un ángulo que en muchos casos era recto, y la traviesa horizontal -escala alímetra- sobre la que se señalaban las divisiones; del vértice superior caía un hilo que soportaba una pesa, el perpendicular, que marcaba sobre la traviesa el desnivel existente entre los puntos de apoyo de las dos piernas.

2. Juan de Herrera, Arquitecto y Nivelador

La biografía de Juan de Herrera ha sido objeto de atención de numerosos estudios por parte, principalmente, de historiadores del arte y la arquitectura, por lo que nos remitimos a ellos⁴.

Juan de Herrera como arquitecto real llevó a cabo importantes trabajos de traída de aguas, en donde demostró ser un excelente nivelador. Analizaremos aquí brevemente, a modo ilustrativo, el "viaje" de Argales para abastecimiento de la ciudad de Valladolid⁵. Ante la dificultad para resolver los problemas que presentaba el suministro de agua a la ciudad, la más grande de Castilla la Vieja y la tercera de España hasta finales del siglo XVI⁶, detallados en el libro de García Tapia, se pensó que únicamente Juan de Herrera podría solucionarlos llevando agua desde la huerta de Argales hasta la ciudad. El proyecto era muy complejo por el gran caudal de agua que había que conducir y sobre todo por la pequeña pendiente que existía entre los dos puntos. Pero Herrera excusó su asistencia a Valladolid por motivos de salud y el rey envió entonces a Benito de Morales -que había intervenido en numerosas obras de nivelación, como la de la acequia de Colmenar a principios de 1571 entre otras- y que permaneció en la capital castellana aproximadamente un año y medio, hasta finales de 1584. Pese a la intervención de otros ingenieros, los regidores de Valladolid exigían la presencia del arquitecto real, llegando a ofrecerle mil ducados -cantidad muy superior al sueldo de un año de un arquitecto o ingeniero- además de las costas y gastos; por fin Herrera accedió, comprometiéndose a elaborar personalmente el proyecto y todas las trazas. La noticia produjo tal alegría que, el 10 de noviembre de 1585, en palabras dirigidas al rey por el regidor Suárez de Solís:

"en todos los conventos desta villa se a dado gracias a Nuestro Señor por la salud que a dado a V. Mt. y con la nueva merçed que V. Mt. fue servido de haçerme con dar liçencia a Juan de Herrera para llegar aqui".

La realización del proyecto sufrió retrasos y paralizaciones por diferentes motivos, no concluyendo hasta 1622, casi treinta años después del fallecimiento de Herrera, por lo que la supervisión y dirección de las obras fueron sucesivamente desarrolladas por diversos arquitectos. La complejidad del proyecto ha hecho que haya sido considerado como una de las realizaciones más difíciles con que se enfrentó la ingeniería española en el Renacimiento, y de su bondad y corrección es prueba suficiente el que las fuentes de Argales suministraron agua a Valladolid hasta hace un par de décadas, pudiéndose contemplar aún hoy, pese a su evidente deterioro, las arcas construidas, las llamadas Arcas Reales.

La perfección de los trabajos de nivelación realizados por Juan de Herrera, de los cuales el de Argales es sólo un ejemplo como dijimos, obliga a plantearse la posible existencia de un nivel extraordinariamente preciso con el que Herrera conseguía tan excelentes resultados.

3. El nivel de Herrera en dos textos de Geometría Práctica

Mientras hay constancia documental numerosa acerca del papel desarrollado por el arquitecto real en la construcción o perfeccionamiento de diferentes instrumentos, como las famosas grúas de El Escorial o como un controvertido instrumento para determinar longitudes, sólo hemos encontrado referencias sobre un nivel atribuido a Herrera en dos textos, ambos de Geometría aplicada y publicados en el mismo año de 1606: *Geometria Practica*, escrito en latín por el jesuita alemán Cristóforo Clavio, y el *Libro de Instrumentos nuevos de Geometría*, éste en castellano, del cosmógrafo y matemático burgalés García de Céspedes.

En las dos obras, como veremos con más detenimiento, se dice que el nivel que se va a estudiar es de Juan de Herrera pero, lo mismo el profesor de Roma como el catedrático de Felipe II, dan a entender que tanto la descripción como el fundamento geométrico del instrumento que ofrecen les son propios, constituyendo una aportación personal con pretensiones de originalidad.

Como era de costumbre en los libros de geometría que trataban de instrumentos los dos textos citados contienen la descripción, el modo de empleo y el *fundamento* del nivel. En la descripción no sólo se detalla su aspecto, sino el procedimiento para graduar el aparato que constituye el problema esencial en la construcción de los instrumentos de medida y en donde radica su auténtica dificultad. En este tema se aprecian diferencias en las dos obras, unas irrelevantes -así en el nivel analizado por Clavio, la traviesa es una semicircunferencia, mientras que es una pieza recta en el libro castellano-, pero otras diferencias son importantes y al final van a ser determinantes: el procedimiento utilizado para graduar la traviesa es radicalmente distinto, más breve y sencillo en el texto magunciano, más complejo y extenso en el castellano. Pero lo que es más importante, ambos métodos dan lugar a graduaciones diferentes sin que pueda establecerse una relación lineal entre ellas, lo que implica necesariamente que uno de los instrumentos, sino los dos, es incorrecto y que su lectura no podrá dar el valor exacto del desnivel que se pretende medir, con lo que carecerá totalmente de utilidad.

En cambio, en lo referente al modo de utilizar y usar el Nivel los dos autores coinciden, repitiendo ambos lo que se dice al respecto en multitud de obras anteriores.

En lo que toca al *fundamento* del Nivel, en donde debe justificarse geoméricamente que el valor de una división de la traviesa corresponde a una cantidad determinada de la magnitud del desnivel, generalmente un palmo, se evidencia, como era de esperar al utilizar métodos distintos de graduación

ambos matemáticos, que éstos realizan demostraciones prácticamente en nada coincidentes. Su análisis permitirá, averiguar el grado de corrección de las graduaciones obtenidas y, consecuentemente, saber si alguno de los dos niveles en estudio es correcto y, por tanto, útil para la nivelación.

En este trabajo se estudian y analizan ambas fundamentaciones con el objetivo primordial de conocer con la mayor profundidad posible el Nivel atribuido simultáneamente por dos de los mejores geómetras europeos de la época a Juan de Herrera, y al mismo tiempo ampliar la información que se tiene sobre el *estado* de las ciencias matemáticas en la España del Siglo de Oro, precisando la altura de los conocimientos que los científicos españoles de la época poseían, especialmente aquéllos, que como Herrera y Andrés García de Céspedes llegaron a disfrutar del máximo prestigio en su tiempo, ocupando los más altos cargos científicos y técnicos al servicio de sus reyes.

4. El nivel atribuido por Clavio a Herrera

Cristóforo Clavio (Bamberga, 1537-1612, Roma), que alcanzó gran fama como matemático, fue profesor en Roma durante más de veinte años, y se encargó, en 1581, a petición del papa Gregorio XIII de la reforma del calendario. Amigo de Kepler, algunos historiadores le atribuyen el uso en 1593 del punto para separar la parte entera de la decimal de un número, en una tabla de senos, aunque el empleo del punto decimal no se popularizó hasta Neper, más de veinte años después.

Fue autor de un gran número de voluminosos tratados, muchos de ellos de aritmética práctica y geometría, como *Epitome Arithmeticae Practicae*, Roma, 1583, sobre numeración, adición, fracciones, regla de tres y proposiciones. Su edición de *Los Elementos* de Euclides, *Euclidis elementorum libri XV- Una cum Scholis antiquis*, Pisa, 1572, reimpresa corregida y aumentada varias veces⁷, es históricamente una obra digna de estudio, pues los comentarios de Clavio recogen toda la geometría del siglo XVI. Destacan también: sobre la construcción de relojes astronómicos *Gnomices libri octo*, Roma, 1581; su *Sphaeram Ioannis de Sacrobosco comentarius*, Roma, 1585, es uno de los mejores comentarios que se han hecho al Tratado de la Esfera, con una nueva edición en Lyon, conteniendo notas históricas de interés; *Novi Calendarii Romani Apologia. Tribus libri explicata*, Roma, 1588, y otros trabajos posteriores explican la reforma del calendario. Su *Astrolabii liber*, Roma, 1593, es un clásico tratado sobre el astrolabio.

Pero la obra de Clavio que más nos interesa aquí es la *Geometria Practica*, publicada en Maguncia⁸ en 1606. Escrita en latín, en ocho libros, se ocupa en

los tres primeros de la construcción de instrumentos matemáticos y su uso. Concretamente en el Libro Tercero, bajo el título de PROBLEMA XLV— realiza Clavio la descripción, explicación del uso y el fundamento de un nivel comenzando con las siguientes palabras:

1. Cuando el espacio propuesto no es muy grande, imaginó Juan de Herrera, célebre arquitecto y matemático español, el instrumento adecuado para la nivelación, de este modo.



Fig. 1

Atribuye así, sin ningún género de dudas, el instrumento de nivelación que va a tratar a Juan de Herrera, a quien reconoce como célebre matemático. El desarrollo de su exposición ocupa tres páginas del texto, desde la 153 a la 155, cuya traducción completa hemos realizado e incluimos para facilitar su conocimiento comentando a continuación su contenido.

Se unen dos reglas AB, AC, de cualquier madera sólida y dura, de piernas iguales, que tengan longitud suficientemente larga para que así contenga entre los extremos B y C 10 palmos o todavía más. Después, llevada la recta AG a BC perpendicularmente, se describe desde A un semicírculo tan grande como IDK, cuyo semidiámetro AD se corta en tantas partes iguales como palmos hay

comprendidos en la distancia BC. Dibujado también el semicírculo oculto AED alrededor de AD, se trasladan desde D a la periferia de aquel todos los intervalos entre D y los puntos de la recta AD; y finalmente, desde A y por cada uno de los puntos del semicírculo AED, se sacan las rectas ocultas y se trazan sus intersecciones con la periferia DI y se trasladan a la otra periferia DK. En efecto, si de A se cuelga un hilo con perpendicular, y separadas todas las partes, se dejan solo las patas del instrumento AB y AC, con la periferia del semicírculo IDK, queda construido el instrumento de las nivelaciones adecuado.

2. En cualquier campo o huerto, dispuestos los puntos B y C en la tierra, si el hilo del perpendicular pasa a través de D, estarán los puntos B y C en la tierra en la misma altitud, de modo que, si el espacio comprendido entre B y C es aplanado, aquel espacio del huerto o campo queda nivelado, esto es, paralelo al Horizonte.

Pero si el hilo del perpendicular AH corta al cuadrante DI por alguna parte, por ejemplo, en el 3, estará el punto C tres palmos más alto que el B, y así, se excava en ese lugar hasta la profundidad de tres palmos, para que el espacio nivelado entre B y el punto más bajo de ella sea paralelo al Horizonte. Pero si el hilo del perpendicular cortase el otro cuadrante DK, por ejemplo, por el 5, el punto C estaría cinco palmos más bajo que el B, por lo tanto, se pone tierra por encima del punto C hasta la altura de 5 palmos, para que el espacio entre B y el punto más alto de la tierra superpuesta quede allanado e igualado al Horizonte. Explanado el espacio entre B y el correspondiente a C, ya este mismo, ya el elevado, se repite dicha operación, poniendo la pata AB en el nuevo punto y C. Y a continuación, se debe avanzar sin detenimiento hasta la última marca del huerto o campo en cuestión. Esto se explica del siguiente modo. Se trazan las rectas BC y CF, paralela al hilo del perpendicular AH, que es perpendicular al Horizonte. Y puesto que en los triángulos AGH y BFC, los ángulos rectos E (Aquí hay un error, debe referirse al ángulo G) y F son iguales y ciertamente los alternos C y H, serán triángulos de ángulos iguales. Es, además, AGH de ángulos iguales al triángulo ADE, en los cuales las rectas G y E son iguales, (Hay equivocación: debería decir que son iguales las rectas AH y AE o al menos, las rectas H y E) y A común. En resumen, también los triángulos ADE y BCF son de iguales ángulos. Y por eso, así como en AD habrá 10 partes, hasta DE tres partes, así mismo BC 10 palmos hasta CF, y por tanto CF contendrá 3 palmos, tantos cuantas partes corta el hilo del perpendicular en el semicírculo IDK. Pero si el cuadrado de CF, según el ejemplo es de 9 palmos (ya que el lado CF es de 3 palmos) se resta a 100, esto es, al cuadrado de BC que tiene 10 palmos, queda 91, que es el cuadrado de la línea horizontal BF, cuya raíz cuadrada $9\frac{1}{2}$, dará la distancia horizontal BD, desde el punto B hasta la perpendicular CF.

Esta misma distancia horizontal BF podrá ser conocida también sin cálculo numérico, de este modo. Desde A se dibuja otro semicírculo, y se transportan al semicírculo AED todos los intervalos entre A y los puntos de la recta AD, y finalmente, sacadas las rectas ocultas desde A por cada punto marcado en el

semicírculo, obsérvense sus intersecciones con el semicírculo descrito desde A, y trasládense al otro cuadrante opuesto a K. Veamos que tantas partes separa el hilo del perpendicular AH desde este último semicírculo dibujado desde A como palmos contendrá la longitud horizontal BF: para ello hay la misma proporción entre DA y AE que entre CB y BF ya que los triángulos DAE y CBF citados son semejantes. Por lo tanto, como la recta AE abarca tantas partes de la recta AD cuantas son llevadas desde A, por el semicírculo AED, hasta el hilo del perpendicular, (así en nuestro ejemplo aproximadamente $9 \frac{1}{2}$), así hay comprendidos el mismo número de palmos de la recta CB en la recta BF.

Como vemos, se ha comenzado con la descripción del instrumento y cómo fabricarlo. Es, en esencia, una semicircunferencia graduada de madera, traviesa, y dos pies del mismo material unidos en el centro de aquélla, punto al que denota con A y desde el que cae el perpendicular. La longitud de los pies debe ser tal que la distancia entre sus extremos sea de unos 10 palmos (2 metros, aproximadamente). La graduación de la circunferencia la realiza dividiendo el radio vertical en diez partes iguales. Su punto medio sirve de centro de otra circunferencia -que recibe el nombre de *oculta*, pues se suprimirá después de realizar esta operación- de radio mitad que el de la primera. Traslada horizontalmente las divisiones marcadas en el citado radio vertical a la circunferencia oculta, con lo que ésta queda dividida en 20 partes, 10 a la izquierda y otras 10 a la derecha. A continuación, desde A traza radios a la circunferencia exterior pasando por las divisiones existentes en la circunferencia oculta. Se han obtenido así 20 divisiones sobre la traviesa, como puede observarse en la fig. 2.

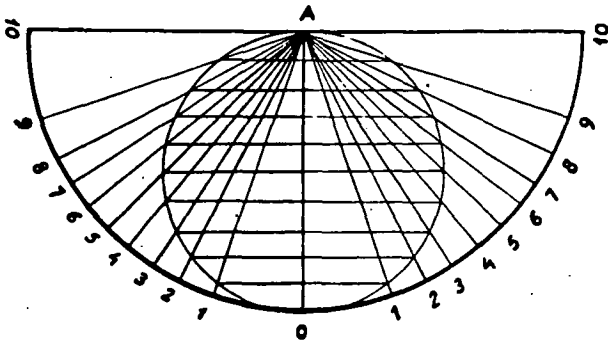


Fig. 2

Sobre la explicación que da a continuación del uso del instrumento al no aportar ninguna novedad sobre ello no es preciso que hagamos comentario alguno. Por último, ofrece una explicación breve del fundamento del aparato, que se entiende mejor con la ayuda de la fig. 3.

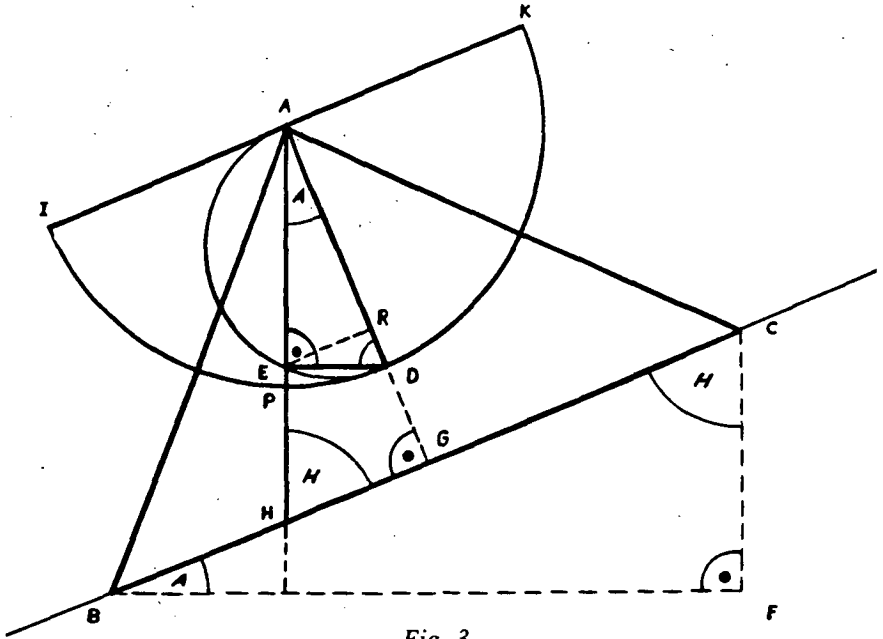


Fig. 3

Reduciendo la demostración a establecer semejanzas de tres triángulos: primero, la existente entre los triángulos BCF y AHG y posteriormente entre AED y AHG, de donde infiere la de AED con BCF. Consecuentemente, llega a la proporcionalidad entre los lados de estos dos últimos triángulos, que en notación actual sería:

$$\frac{CF}{ED} = \frac{BD}{AD} \quad CF = ED \frac{10 \text{ palmos}}{10 \text{ divisiones}} \quad CF = ED \frac{\text{palm}}{\text{divis}}$$

De esta manera, conocido el segmento ED, se obtiene CF, es decir, la magnitud del desnivel en el punto C respecto al punto B, que era lo que se pretendía hallar.

Pero Clavio incurre en un error grave, identifica la longitud del segmento ED, que deberá expresarse en palmos, con la lectura sobre la travesía del nivel PD, dada por un número de divisiones, con lo que obtiene:

$$CF = PD \text{ div } \frac{\text{palmos}}{\text{división}} ; CF = PD \text{ palmos}$$

De esta forma *consigue* que la lectura del Nivel proporcione un valor del desnivel en palmos, valor totalmente incorrecto debido al error cometido y fácilmente comprobable sin más que atender al triángulo ERD de la Fig. 3, viendo sin dificultad que Clavio ha sustituido la longitud de la hipotenusa ED por la del cateto RD, longitud que en divisiones sí coincide por la construcción hecha con la división marcada por el hilo del perpendicular.

Comprobamos pues, que el procedimiento para graduar el Nivel empleado por Clavio es a todas luces incorrecto y por consiguiente hace inútil al instrumento para ser empleado en la nivelación, lo cual era de esperar al elaborar Clavio un método de determinación de la escala totalmente desvinculado de la magnitud que se pretende medir.

5. El Nivel de Herrera según García de Céspedes

Otra referencia al Nivel de Herrera la hemos encontrado, como ya hemos señalado, en el *Libro de instrumentos nuevos de Geometria, muy necessarios para medir distancias, y alturas, sin que intervengan números, como se demuestra en la práctica. Demás de esto se ponen otros tratados, como es uno, de conducir aguas, y otro una cuestión de artillería, en donde se ponen algunas demostraciones curiosas*. Por Andrés de Céspedes Cosmógrafo mayor del Rey nuestro Señor. Dirigido al Serenísimo Señor Archiduque Alberto, Conde de Flandes, Duque de Brabante, etc. En Madrid. Por Juan de la Cuesta. Año 1606. tasado por el Consejo del Rey en Valladolid a 10 de febrero de 1606. El libro lleva la aprobación del secretario Tomás Gracián Dantisco, dada en Valladolid a nueve de octubre de 1604 y el privilegio de S.M., por diez años, para imprimirlo, fechado en Ventosilla a 20 de octubre de 1604.

García de Céspedes fue, sin lugar a dudas, uno de los mejores cosmógrafos españoles del siglo XVI. Así lo considera por ejemplo Sánchez Pérez, quien elogia sus trabajos e indica que el lugar y la fecha de su nacimiento son desconocidos, datos que no figuran tampoco en el resto de la bibliografía consultada.

Al estudiar sus obras⁹ hemos encontrado que en un manuscrito que se guarda en la Academia de la Historia de Madrid aparece un *Libro de relojes de Sol que hizo Andrés García de Céspedes, Cosmógrafo Mayor del Rey, natural del valle de Tovalina, montaña de Burgos*¹⁰. En su Testamento -que hemos localizado en el Archivo de Protocolos de Madrid¹¹ fechado el 22 de octubre de 1609, hace continuas referencias a la villa de Gabancs, jurisdicción de la ciudad de Frías (Burgos) en donde poseía una hacienda y en donde residían también sus familiares. En el mismo documento figura ser propietario de unas casas,

que habían sido de sus padres, en *Villanueva del Grillo, en las merindades de Castilla la Vieja*. Datos que confirman que Andrés García de Céspedes era del citado valle burgalés.

En diversas Cédulas Reales y Cartas de Pago hemos encontrado otros datos interesantísimos y desconocidos sobre sus actividades y sobre los cargos que desempeñó a lo largo de su vida, las obligaciones que por ellos tenía así como los salarios que recibía. Sus oficios más importantes fueron el de Cosmógrafo Mayor del Real Consejo de las Indias, sucediendo a Pedro Ambrosio de Ondérez¹², y el de Catedrático de Matemáticas de la Corte, tras el fallecimiento de Julián Ferrofino¹³.

Andrés García de Céspedes, en la dedicatoria del *Libro de instrumentos nuevos de Geometría*, dirigida al Archiduque¹⁴, explica que en este tratado se ponen dos instrumentos que hizo en Lisboa para él, con el uso y su demostración, que pueden ser provechosos para los soldados, por ser fáciles de manejar, añadiendo en la introducción, dedicada al lector lo siguiente:

"También se puso la demostración de la fábrica de un nivel que vi en casa de Juan Herrera, Arquitecto que fue de su Magestad, que tampoco he visto quien la ponga".

Deja de esta manera clara su autoría personal de la demostración de la fábrica del nivel que presenta en el libro, sin afirmar que el instrumento sea creación de Herrera, sino sólo que lo vio en la casa del Aposentador de Palacio.

Es en las páginas 20 a 24 v^o donde se contiene el estudio del citado nivel, que aparece dividido en tres capítulos -del XII al XIII (en el original)- cada uno de los cuales tiene por objeto, respectivamente y como era habitual, la *fábrica*, el fundamento matemático o *demostración* y el *uso*.

La construcción o *fábrica* que facilita Céspedes difiere fuertemente de la que vimos en Clavio. Así, en el citado Cap. XII y bajo el título

"En que se pone una fabrica de un nivel con que se nivela qual de dos lugares está más alto: y juntamente se sabrá la distancia que ay entrambos"

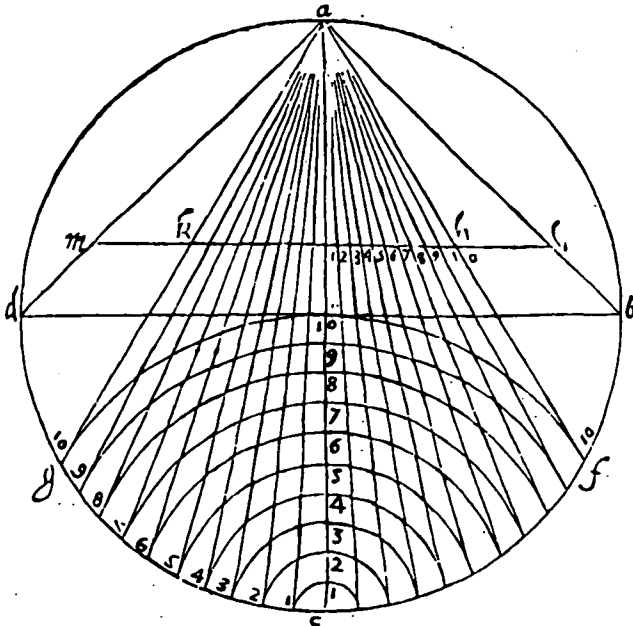
desarrolla de la siguiente manera la exposición de su construcción:

Hágase el círculo *abcd*, cuyo centro es, *e*: tírense los diámetros, *ac*, *bd*, que dividan el círculo en quatro quadrantes: pártase el semidiámetro, *ce*, en diez partes yguales: y poniendo el pie del compás en, *c*, se descrivan círculos que pasen por las divisiones, y paren en la circunferencia del círculo, *abcd*. Después, del punto, *a*, se tiren líneas, hasta donde las circunferencias que se describieron del punto, *c*, cortan la circunferencia del círculo, *abcd*.

Después del punto, *a*, se tiren las líneas, *ab*, *ad*, que serán los brazos del nivel: tómesese, *al*, *am*, que sean yguales, y tírese *lm*, y esta será la travesía del nivel: y donde cortaren las líneas que se tiraron del punto, *a*, a esta travesía, se ponen las medidas que muestran la altura de un punto a otro, la qual se señale con sus números, como parece en la figura.

Quando se tiene de hazer este nivel, se busque una pared muy lisa y llana, en la qual se hará el círculo, *abcd*, que tenga por lo menos diez pies de diámetro, en el qual se obrará, como aquí avemos dicho, partiendo el semidiámetro *ce*, en diez partes yguales, que cada una será medio pie; y otro tanto valdrá cada división de la travesía, *lm*. Cada una destas divisiones se pueden dividir en 20 partes, de la suerte que se ha hecho en las diez. Porque con más precisión se haga la anivelación, los brazos, *ab*, *ad*, se harán de manera, que de la una punta a la otra no excedan los diez pies: y la traviessa, *lm*, quanta más cerca se pusiere de los puntos, *bd*, será mejor, porque serán mayores las divisiones".

Vemos pues que García Céspedes construye el Nivel partiendo de una circunferencia de 10 pies de diámetro, tomando como vértice del nivel el extremo, *a*, del diámetro vertical y como patas las dos cuerdas que van desde este punto a los extremos del diámetro horizontal, *ab* y *ad*, y como travesía cualquier segmento, *lm* paralelo a éste y tan próximo a él como sea posible. (Fig. 4).



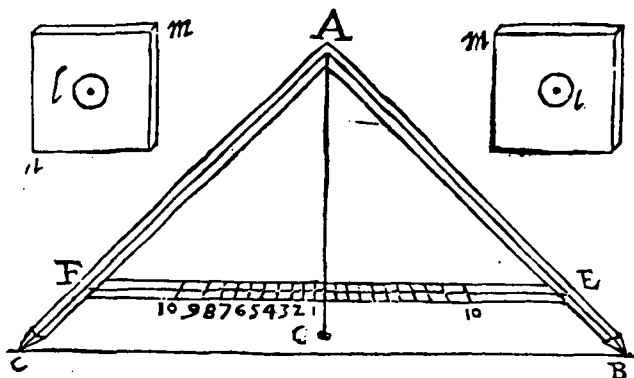


Fig. 4. El nivel y la forma de marcar las divisiones en la traviesa tal como aparece en el Libro de instrumentos nuevos de Geometría de Andrés García de Céspedes.

Para graduarle, considera el extremo inferior, c , del diámetro vertical, y desde él traza 10 circunferencias cuyos radios coinciden con las diez divisiones iguales que se han realizado sobre el radio vertical ce . A continuación, se trazan los segmentos que unen el vértice a con los puntos de intersección de estas circunferencias con la circunferencia exterior; tales segmentos cortarían a la traviesa lm en 20 puntos, quedando de esta forma graduado el instrumento.

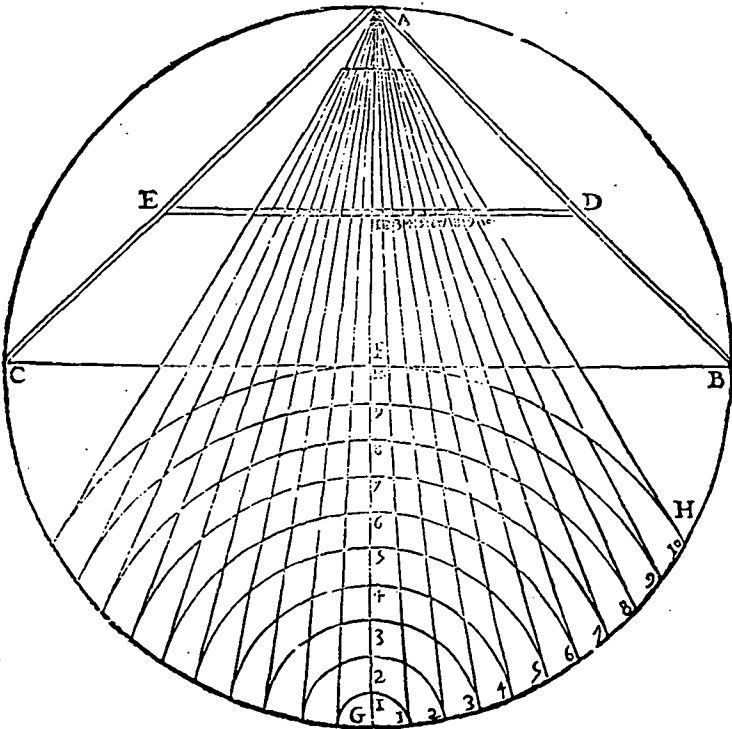
Si recordamos la *fábrica* del nivel atribuido por Clavio a Juan de Herrera, notamos importantes diferencias en el procedimiento para graduar el instrumento. Allí se hacía por medio del *círculo oculo* y se aprovechaba un arco de la circunferencia exterior para que sirviera de traviesa; ahora Céspedes recurre a tantas circunferencias auxiliares como la mitad del número de divisiones que pretenda tenga el nivel y, además, toma como traviesa el diámetro *horizontal* de la circunferencia en la que queda inscrita el Nivel. Otra diferencia notable es que el ángulo que forman las patas era irrelevante en el texto de Clavio, mientras que el cosmógrafo burgalés exige, por construcción, que sea de noventa grados -lo que facilitará la aplicación de ciertas propiedades de Euclides para justificar geoméricamente el aparato- admitiendo, por último, la posibilidad de la existencia, no de 10 divisiones, sino de 200, si se desea una mayor precisión.

Al final del capítulo XII escribe García de Céspedes:

"La fábrica deste nivel he visto en algunos libros, pero no la demostración, y así me pareció, que para quien le fabricare por este modo, que sería bien poner la demostración, para satisfacción del que obrare con él".

Podría referirse, quizás, a *Teórica y práctica de fortificación, conforme a las medidas y defensas destes tiempos, repartida en tres partes*. Por el Capitán Cristóbal de Rojas, Ingeniero del Rey nuestro Señor. Madrid, 1598¹⁵. En el capítulo XXIII, titulado *De la fábrica y distribución de un nivel, para encaminar las aguas* describe Rojas un nivel de 20 pies (560 cm.) de hueco entre las dos puntas y 10 pies (280 cm.) de alto como algo muy necesario para el ingeniero.

Para hacer las divisiones en la traviesa Rojas inscribe el triángulo CAB - donde CA y BA son las piernas del nivel- en un círculo de diámetro BC igual al hueco del Nivel, siendo AF el perpendicular, como muestra la figura. El semidiámetro FG lo divide en 10 partes iguales (10 pies) y poniendo la punta del compás en G va trazando arcos de circunferencia que pasando por cada una de esas divisiones cortan al círculo entre las puntas G y H en otros diez puntos. Une el vértice A con dichos puntos y esas líneas marcan las divisiones en la traviesa. Pero no se detiene Rojas en más consideraciones geométricas, pasando directamente a explicar la forma práctica de utilización del nivel. (Fig. 5).



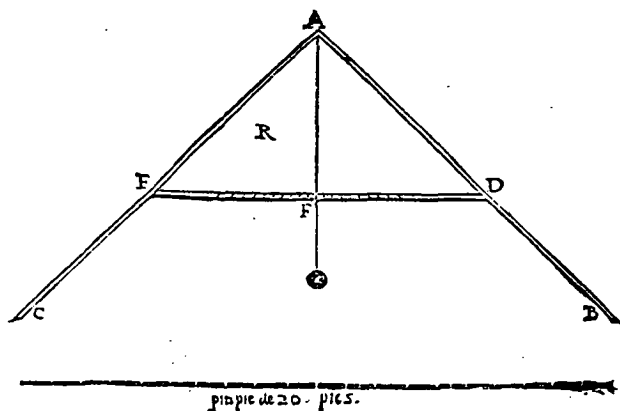


Fig. 5. El nivel en el texto *Teórica y práctica de fortificación de Cristóbal de Rojas*.

Creemos, a la vista de lo que acabamos de exponer, que García de Céspedes pudo partir de esta obra -las figuras de los dos textos *Teórica y práctica de fortificación.... e Instrumentos nuevos....* son iguales en cuanto a la graduación y forma del nivel elaborando la correspondiente demostración geométrica que no aparece en el texto de Rojas.

En el Cap. XIII del libro de García de Céspedes, cuyo encabezamiento es

"En que se pone la demostración del nivel que se ha descrito"

facilita el Catedrático de Matemáticas una justificación detallada y rigurosa, aparentemente compleja pero en el fondo de una gran sencillez, de la *fábrica* del Nivel, que prueba la profundidad de sus conocimientos geométricos, demostración que por su amplitud no reproducimos pero sí comentamos.

El cosmógrafo castellano consigue, con la graduación por él realizada, que el número de la división en que el perpendicular corta a la travesía corresponda exactamente con la magnitud, en pies, del desnivel existente entre las patas del instrumento.

Para ello, García de Céspedes parte de la idea inicial de que si el pie de la izquierda del Nivel, *d*, está más bajo que el otro, *b*, la posición del instrumento corresponde a la obtenida por un giro de centro *b* y cuya amplitud depende de la del desnivel existente entre los citados pies. De esta manera el punto *r* en que el perpendicular corta a la travesía tiene por el citado giro su correspondiente en el punto *s* del Nivel en posición horizontal.

Con la ayuda de las figuras 6 y 7, que aparecen en el texto original en las páginas 22v° y 23v°, que hemos pretendido completar y aclarar en la Fig. 8, Céspedes, recurriendo a varias proposiciones de *Los Elementos* de Euclides -en concreto, a la segunda del Libro tercero y a la quince, la catorce y la veintiocho del Libro primero- demuestra la semejanza de los triángulos *eas* y *klr* formados por los centros, vértices y puntos de corte con las travesas de las dos posiciones del nivel correspondientes a una situación de *nivelación* y a otra de *desnivel* respectivamente. A continuación demuestra la semejanza del triángulo *qhb* -no dibujado en la figura original- cuyo lado *qh* mide el desnivel existente, con el triángulo *ilp*, construido al realizar la graduación del instrumento, llegando a la igualdad

$$qh = pi$$

Por último establece la semejanza entre este triángulo *ilp* y el *klr* alcanzando la correspondencia buscada entre el segmento *kr*, determinado por la caída del perpendicular sobre la traviesa, y el valor del desnivel *qh*, o lo que es lo mismo, la lectura, *r*, sobre la escala del nivel y el valor en pies del desnivel cuya magnitud se pretendía averiguar.

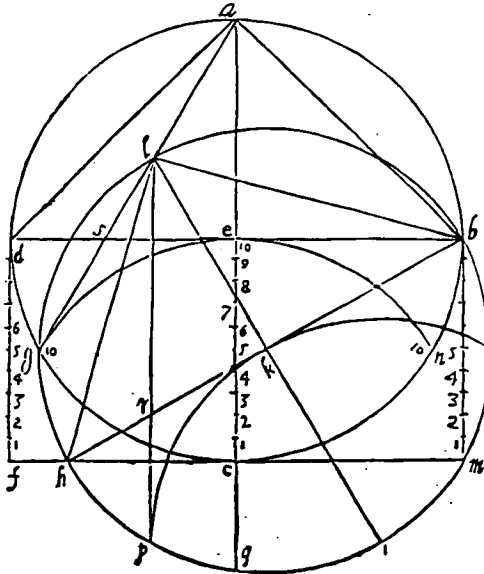


Fig. 6. Figura hecha por García de Céspedes que acompaña a la demostración geométrica.

Finalmente expone García de Céspedes el uso del Nivel, explicación que reproducimos íntegramente por lo ilustrativo que resulta su lectura, no necesitando mayor comentario.

"CAP. XIII. En que se pone el uso del Nivel.

Hechas las divisiones en la traviessa del nivel (como avemos enseñado) por la segunda, o primera manera, aunque por más cierta tengo la segunda, se hará el nivel en la forma siguiente. Poniendo las puntas de azero, porque no se gasten; y quando se huviere de usar dél, se harán dos tablas como, *mn*, que tengan un palmo en quadrado; y en medio de cada tabla, como en el punto, *l*, se pondrá una chapa de hierro, y en esta chapillas se tiene de assentar el nivel, siempre en un mismo punto. Estas tablas se yrán mudando, como se fuere anivelando, teniendo cuenta con los niveles que se fueren tomando: y en cada nivel que se tomare, se vea el perpendicular en qué parte de la traviessa corta, porque si cortare en la traviessa del nivel, en la numeración de la parte trassera, es señal que la punta delantera está más alta. Pues a cada nivel que se tomare, se assentarán en una parte; y los que cortare en la parte delantera, en otra. Acabada la anivelación, se sumen los de cada parte por sí, y réstese el mayor número del menor, que lo que quedare es lo que en un lugar de los que se anivelan, está más alto, o más baxo que el otro: si los puntos de la parte trassera fueren más que los de la delantera, está mas baxa que la parte delantera. Y pues estas son cosas claras, no me detengo más en esto".

Para concluir el estudio comparativo que hemos pretendido realizar de los textos analizados, ofrecemos sobre un mismo Nivel los resultados de utilizar ambos métodos o procedimientos de graduación. (Fig. 9).

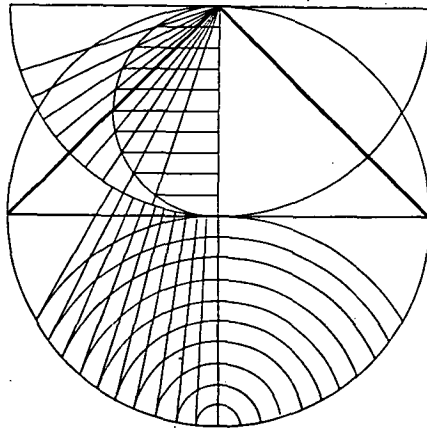


Fig. 9. Las divisiones, marcadas en una traviessa semicircular, por los procedimientos de Clavio y de García de Céspedes.

Como se ve hemos graduado el Nivel tal como aparece en la obra de Clavio, es decir, con la traviesa semicircular, pudiéndose apreciar la profunda disimilitud de ambas escalas y por consiguiente la naturaleza errónea de una de ellas, la del matemático germano, en comparación con la correcta realizada por el matemático de Felipe III, el castellano García de Céspedes.

La demostración de Céspedes fue aún mejorada en ciertos aspectos, unos años más tarde, por su sucesor en los cargos de Cosmógrafo Mayor del Consejo de Indias y Catedrático de Matemáticas en la corte Juan Cedillo Díaz¹⁶, quien casi con toda seguridad había recibido todos los papeles e instrumentos del cosmógrafo burgalés al tomar posesión de los citados *oficios*. Los trabajos de Cedillo permanecen inéditos en la Biblioteca Nacional de Madrid en tres grandes volúmenes manuscritos que están siendo objeto de nuestro estudio desde hace unos años¹⁷. En el segundo de los referidos volúmenes se encuentra la descripción y el uso del *corobates*¹⁸, instrumento idéntico al Nivel estudiado por García de Céspedes, mereciendo destacarse que, aunque Cedillo hace las demostraciones geométricas para el caso en que las piernas del nivel formen ángulo recto -al igual que su predecesor- señala que valdría también para ángulos agudo u obtuso, lo que justifica con las correspondientes figuras. (Fig. 10).

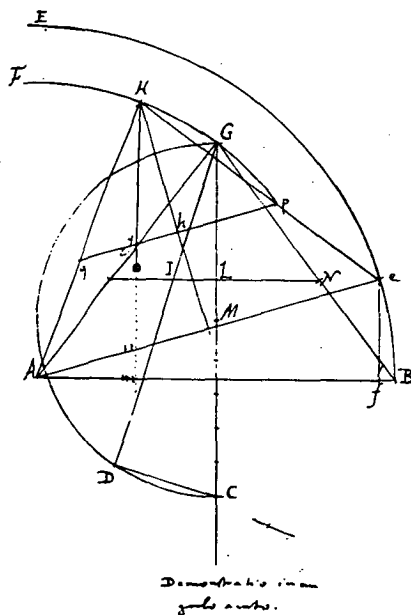


Fig. 10. El corobates en una hoja del manuscrito de Juan Cedillo Díaz.

6. Los Niveles de Esquivel, Lastanosa y Herrera

Nos planteamos a continuación el problema de determinar el origen del Nivel atribuido a Herrera para precisar si era un tipo o modalidad totalmente original o si en realidad era el resultado de sucesivos perfeccionamientos de un instrumento anterior. Para ello hemos estudiado los diferentes tipos de niveles que aparecen descritos en los textos y manuscritos de la segunda mitad del siglo XVI. En *Los veintitún libros de los ingenios y de las máquinas*, obra escrita entre 1564 y 1575 por Pedro Juan de Lastanosa¹⁹, cuyo libro cuarto *De los niveles y de sus formas* describe diferentes modelos de niveles y reconoce, por otro lado, la importancia de la Geometría en su construcción

"Para aver de tractar de materia de niveles como he prometido, convenía que yo fuesse otro Julio frontino o otro Vitruvio o otro Archímedes, por ser ello cosa de mucho y más artificio de lo que el vulgo se piensa; para saber fabricar semejante cosa requierese Geometría para hazer un nivel que el vulgo les parece cosa muy fácil y cosa de muy poca calidad y cosa muy común de hazer, que no hay labrador que no pretenda hazerle ni emperador".

se considera como el primero y más ordinario de todos los instrumentos el nivel de tranco, que es idéntico en su construcción a los atribuidos a Herrera. Explica después Lastanosa dos formas diferentes de realizar la graduación de la traviesa: una de ellas, ilustrada con la figura 11, sin ningún fundamento geométrico, y la segunda experimental (la mejor en opinión del propio autor) que consiste en ir marcando las divisiones en la traviesa al tiempo que se va levantando la pierna del nivel sobre una escala en la que están perfectamente marcados los palmos, como muestra²⁰ la fig. 12.

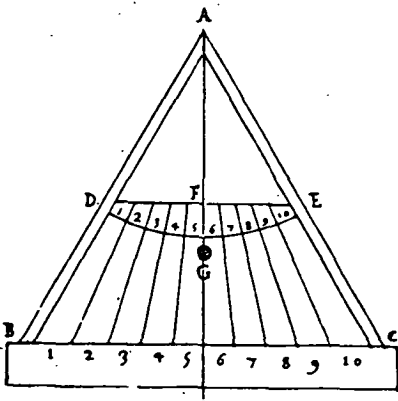


Fig. 11

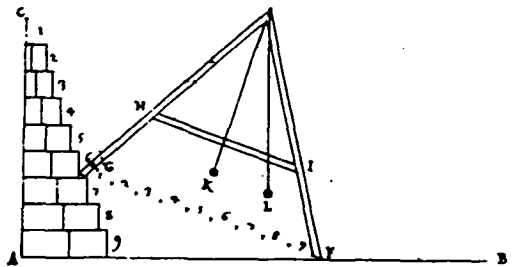


Fig. 12

Una forma muy sencilla e ingeniosa de utilizar el nivel de tranco, descrito por Lastanosa y cuyo conocimiento sirvió, probablemente, de punto de partida de la demostración hecha por García de Céspedes, la hemos encontrado descrita en el libro manuscrito *Instrumentos Astrónomos* de la Biblioteca del Real Monasterio de El Escorial²¹, en donde se describen nueve instrumentos, utilizados y contruidos por los árabes; pero al final, cosida al revés y con diferente caligrafía, se encuentra en tres hojas la descripción de un nivel y su uso catalogada como de Ambrosio de Morales (1513-1591) pese a que en todo el texto no aparece ningún nombre o dato alguno que corrobore esta atribución, y que nosotros pensamos pueda ser del maestro Esquivel por las razones que vamos a exponer.

Es conocido sobradamente que Ambrosio de Morales -tal como él mismo explica en sus escritos²²- se ocupaba de informar al rey Felipe II, como cronista suyo que era, sobre la labor realizada por el maestro Esquivel en la Descripción y Corografía de España encargada por el monarca. Al fallecer Esquivel todos sus papeles e instrumentos pasaron a su ayudante D. Diego de Guevara, quien debía continuar con la labor encomendada por el rey; pero la muerte prematura de D. Diego lo impidió y puso en peligro el que nunca llegara a desvelarse el secreto de la perfección conseguida por su maestro en las técnicas de la nivelación, tal como advierte el propio Ambrosio de Morales, cuyas palabras reproducimos:

"Lo que conviene advertir mucho en lo de los libros, papeles e instrumentos del Maestro Esquivel, que S.M. tenía en poder de Don Diego de Guevara, que haya gloria, es lo siguiente: Lo principal de todo, y que es de más estima, es el invento o manera y camino que Esquivel halló para hacer sus descripciones tan particulares y menudas, y con tanta fineza como los hacía. Esto fue una invención muy grande, y que en Cosmografía no se podía más desear; y yo doy a entender de ella en este discurso que aquí va, lo que se puede platicar, y lo que yo sé de ella, que es muy poco en comparación de lo mejor, que es lo que yo no sé.

Este invento queda tan perdido como si nunca se hubiera hallado con la muerte de Don Diego de Guevara; porque el maestro Esquivel nunca escribió una sola letra de él; y con habérselo comunicado, y declarado a Don Diego y a su padre, lo tenía por sabido y continuado. Y muerto Don Diego, no queda hombre vivo que lo sepa.

El remedio sería que Don Diego de Guevara hubiese escrito alguna palabrilla dél para memoria suya, que no se le olvidase, o para mejor declaración, o para otro fin alguno. Y si él algo escribió, por poco que sea, yo lo entenderé luego por saber algo de los principios de este invento, y porque las cosas de don Diego las entiendo y conozco de muy lejos, como quien las ama tanto; y así entiendo de sus papeles mucho".

Morales se propuso, por tanto, buscar entre los papeles de Diego de Guevara alguna descripción del procedimiento de nivelación seguido por Esquivel. El resultado de esa búsqueda pudo ser el hallazgo de esas tres hojas, quizás escritas por el propio Esquivel, o, quizás, por Diego de Guevara (si aceptamos las manifestaciones del Cronista Morales en el sentido de que aquél no dejó nada escrito), pero que contienen la explicación, sin duda, del método de nivelación utilizado para la Corografía de España, pues proporcionaba la magnitud del desnivel existente entre dos puntos lejanos por medio de un instrumento pequeño y muy manejable, y con una sola medida, lo que implicaba una gran rapidez, requisito esencial cuando la extensión a describir era la totalidad de la Península Ibérica salvo Portugal.

El procedimiento contenido en el citado documento de El Escorial consiste fundamentalmente en utilizar el instrumento sin tener que graduar previamente la travesía, que era la operación más delicada. Para ello va a utilizar dos palos, hincándoles uno en el punto donde se comienza a nivelar y otro más adelante, que van a soportar encima la viga larga *muy lisa y bien esquadrada*. A una altura de una vara (unos 84 cm) fija un clavo en cada uno de los palos y en esos clavos sujeta la viga colocando el nivel encima de ella. Si el terreno es perfectamente llano y horizontal, el perpendicular caerá justamente en el centro, pero si no es así, por ejemplo el punto en que está hincado el palo delantero está más alto, el perpendicular aparecerá desviado y para que cuelgue en el punto medio habrá que bajar la viga y apoyarla, en su parte delantera, en un clavo más bajo. Si el clavo primero estaba a una vara del suelo y el segundo a tres cuartos de vara, habrá que anotar un desnivel de una cuarta de vara (un palmo). En la siguiente operación cambia el palo que fue trasero al lugar delantero y repite la operación tantas veces como sea necesario.

"Assi que con esta manera de obrar no ha menester el nivel tener señalada la cuenta en la línea que atraviesse porque no se mira por ella la corriente o subida, sino por el altura de los maderos y solamente se procura que el hilo de la pesilla passe muy al justo por el medio estando muy derecho": "Servirá tambien para nivelar el agua aunque esté hundida en un pozo, midiendo con una sogá lo que hay del suelo hasta el agua cargándolo a cuenta de la subida"

La ventaja de esta forma de proceder es que puede utilizarse un nivel pequeño, a lo sumo de una vara de línea transversal (83,6 cm) y una viga de treinta o cuarenta pies (840 a 1120 cm). Advierte que muchos otros niveladores no utilizan la viga, sino que ponen el nivel en el suelo y van cambiando la pierna de atrás adelante, como un compás, pero para ello es *necesario un nivel grande y aún así se mediría despacio*.

Vamos a probar ahora que el autor de *Los veintiún libros* y el catedrático de Alcalá pudieron comunicarse sus conocimientos respectivos sobre

nivelación, lo que explicaría las grandes coincidencias que encontramos entre el nivel de tranco que se expone en la obra del ingeniero aragonés y el que utiliza Esquivel.

La historiografía coincide en atribuir el inicio y desarrollo de los trabajos relacionados con la Descripción y Corografía de España de manera exclusiva a Esquivel, pero existen documentos que demuestran que en ellos colaboró con Lastanosa. Así se dice en una carta que se encuentra en el Archivo de Simancas²³:

"El doctor Josepe Micón dize que los días pasados advirtió a V.M. con dos memoriales cómo podría servir en el redresso de la librería de San Lorenço el Real y en la descripción y crónica de España, en la qual entendían Pedro Juan de Lastenosa y el maestro Esquivel, por tener muchos años de experiencia y nadie llevarle ventaja y Porque V.M. remitió dichos memoriales al Secretario Gaztelu y hasta aora no se le ha respondido, suplica a V.M. mande resolvella pues demás deque será remedialle su necessidad con la mano larga que suele V.M. teneren todos los que se emplearen en su servicio, tiene por cierto que quedaría V.M. de sus trabajos satisfecho. 11 de diciembre de 1579".

Queda por último establecer el modo como Herrera pudo tener conocimiento del Nivel y de la técnica empleada por Esquivel para la nivelación.

A la muerte de Don Diego de Guevara, Felipe II se dirigió a su secretario Gonzalo Pérez con estas palabras²⁴:

"He entendido la muerte de Don Diego de Guevara, de que me ha pesado, y háseme acordado que creo que tenía los instrumentos y otros papeles de Esquivel. Será bien si es así que lo hagais cobrar, que Herrera sabrá dellos, porque no se pierdan y se pueda continuar la carta de España que él hacía, en que creo yo podría entender Herrera. Vos ved lo que os parece en ello, y me lo acordad también cuando vengais por acá".

Si esta iniciativa del monarca prosperó, los instrumentos y papeles de Esquivel pudieron pasar a Herrera quien quizás encontró entre ellos, al igual que Ambrosio de Morales, el secreto de la nivelación.

Resulta probada, a nuestro entender, esa colaboración que pudo implicar la transmisión mutua de las técnicas e instrumentos empleados en la nivelación.

Por todo ello concluimos que el instrumento utilizado por Herrera era el de Esquivel y Lastanosa, el nivel de tranco común, pero empleado de diferente manera según el ingenio y saberes de cada uno. Aunque los tres tenían

conocimientos de matemáticas -Esquivel había sido incluso catedrático en Alcalá- trabajaban como ingenieros o arquitectos, es decir, como técnicos; por ello no proporcionaron demostraciones geométricas y mantuvieron el secreto, no sacando a la luz ningún escrito que explicara como utilizaban sus instrumentos. El fundamento matemático del nivel lo proporcionaron en cambio, como hemos visto, dos matemáticos, más preocupados lógicamente por este aspecto teórico: el español Andrés García de Céspedes y el italiano Clavio; pero con la diferencia fundamental, que ya hemos señalado, de que el italiano, al no hacer intervenir en la demostración la magnitud a determinar, llega a un resultado que no es correcto, mientras el cosmógrafo burgalés hace una buena e ingeniosa demostración, prueba de su excelente preparación teórica.

Agradecimientos

En la traducción del latín del texto de Clavio ha colaborado Diego Esteban y en la realización de los dibujos de este artículo Enrique Alonso Franch.

NOTAS

1 VITRUVIO (1982) *Los diez libros de Arquitectura*. Traducción, prólogo y notas de A. BLANQUEZ, Barcelona, Iberia, p. 214.

2 La obra fue escrita en latín y divulgada, muy retocada, en manuscritos a partir de 1452 bajo el título *De rae edificatoria*. Su mayor difusión la consiguió a través de la versión en "lengua florentina" debida a Cosimo Bartoli, aparecida en Florencia en 1550.

3 Biblioteca Nacional de Madrid, E.R. 2519. Para los investigadores Agustín de Bustamante y Fernando Marías, que han analizado parte del texto en lo referente a la arquitectura, el glosador del libro de Alberti es de origen catalán y conocía bien Aragón, habiendo estado en Italia y Francia; los comentarios están hechos en la década de 1560 y en relación a la arquitectura demostraría la existencia de una corriente clasicista en el Reino de Aragón. Los *Diez libros de Arquitectura* de Alberti fueron traducidos de Latín en Romance por Francisco Lozano, Madrid, 1582 (con la aprobación de Juan de Herrera, Madrid, 4 de agosto de 1578).

4 Así por ejemplo: LLAGUNO Y AMIROLA, E. y CEAN BERMUDEZ, A. (1829) *Noticias de los arquitectos y arquitectura en España desde su restauración*. Madrid, Imprenta Real, 4 vols. Ed. facsímil (1977), Madrid, Turner.

RUIZ DE ARCAUTE, A. (1936) *Juan de Herrera, arquitecto de Felipe II*. Madrid, Espasa Calpe.

CERVERA VERA, L. (1963) *Semblanza de Juan de Herrera, El Escorial 1563-1963*, T. II. Madrid, Patrimonio Nacional.

IÑIGUEZ ALMECH, F. (1963) *Los ingenios de Juan de Herrera, El Escorial, IV Centenario 1563-1963*, T. II. Madrid, Patrimonio Nacional, pp. 181-214.

SIMONS, E., GODOY, R. (1976): *Discurso del Señor Juan de Herrera, Aposentador Mayor de S.M., sobre la figura cúbica*. Madrid, Editora Nacional.

GOODMAN, D. (1990) *Poder y penuria. Gobierno, tecnología y sociedad en la España de Felipe II*. Madrid, Alianza Ed. Versión española de V. Navarro Brotóns.

5 GARCIA TAPIA, N. (1990) *Ingeniería y arquitectura en el Renacimiento español*. Serie "Historia y Sociedad", 11. Universidad de Valladolid, pp. 335-339.

6 BENNASSAR, B. (1983) *Valladolid en el Siglo de Oro*. Ayuntamiento de Valladolid, p. 160. Explica el historiador que la explosión demográfica de la ciudad continuó hasta 1591, siendo Valladolid la tercera o cuarta ciudad, detrás de Sevilla y Toledo, semejante a Granada o Córdoba.

7 ESTEBAN PIÑEIRO, M.; VICENTE MAROTO, I. y otros (1990) *Fuentes para la Historia de la Ciencia y de la Técnica en la Biblioteca del Palacio de Santa Cruz*. Valladolid, Consejería de Cultura, Junta de Castilla y León, p. 240.

8 Ibidem, p. 166-167.

9 ESTEBAN PIÑEIRO, M. y VICENTE MAROTO, I. (en prensa) *Aspectos de la Ciencia Aplicada en el Siglo de Oro Español*. Valladolid, Consejería de Cultura, Junta de Castilla y León, donde se recoge un estudio más detallado de la vida y obra de Andrés García de Céspedes.

10 Biblioteca de la Academia de la Historia, Ms en folio, 9/2 711.

11 Archivo Histórico de Protocolos de Madrid, testamento de Andrés García de Céspedes, Francisco Dovalle, Prot. 3842, fol. 661 y sig.

12 Archivo General de Indias, Sección Indiferente General - 874. Nombramiento de fecha 15 de mayo de 1956.

13 AGI, IG - 749, Nombramiento como Catedrático de Matemáticas con fecha 3 de septiembre de 1607. El cargo estuvo vacante tres años al no hallarse a nadie que pudiera suceder a Ferrofino, muerto en 1604.

14 Mientras estaba el sevicio del Archiduque Alberto, los relojes de palacio estaban bajo su responsabilidad *en lo que toca al concertarlos y ponerlos según los movimientos celestes*, según consta en un documento del Archivo General de Simancas, Casas y Sitios Reales, leg. 321, fol. 165.

15 Receditada por CEHOPU, 1984.

16 Título de Cosmógrafo Mayor del Consejo de las Indias y Catedrático de Matemáticas a Juan Cedillo Díaz, por jubilación de García de Céspedes, con fecha 5 de febrero de 1611. AGI, IG. 874.

17 ESTEBAN PIÑEIRO, M. y VICENTE MAROTO, I. (1989) "Primeras versiones castellanas (1570-1640) de las obras de Euclides: su finalidad y sus autores". *Asclepio*, vol. XLI, fascículo 1, p. 203-232. Cedillo Díaz realizó una traducción de Los seis primeros libros de *Los Elementos de Euclides*, que se estudia en este artículo.

18 VICENTE MAROTO, I. y ESTEBAN PIÑEIRO, M. (1988) *El corobates en un manuscrito de Juan Cedillo Díaz*. In: *Estudios sobre Historia de la Ciencia*

y de la Técnica. Valladolid, Consejería de Cultura, Junta de Castilla y León, pp. 229-255. Al final del texto aparece la fecha de 1621.

19 GARCIA TAPIA, N. (1990) *Ingeniería y Arquitectura en el Renacimiento español*. Universidad de Valladolid, pp. 74-100.

20 PSEUDO JUANELO TURRIANO (1983) *Los veintiún libros de los ingenios y de las máquinas*. Madrid. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Prólogo de J.A. GARCIA DIEGO. Manuscrito de la Biblioteca Nacional de Madrid, Ms. 3372-3376.

21 Biblioteca del Real Monasterio de El Escorial V-II-9.

22 MORALES, A. (1793) *Discurso sobre las antigüedades de Castilla*. In: *Opúsculos Castellanos*. Recopilados y publicados por el P. Fr. Francisco Valerio Cifuentes, Bibliotecario del Real Monasterio, Madrid, 3 vols., vol II, pp. 88-91.

23 A.G.S., C y S.R. leg. 280, fol. 1161. Esta intervención de Pedro Juan de Lastanosa junto al maestro Esquivel es también destacada por García Tapia en su libro *Ingeniería y Arquitectura en el Renacimiento español*, p. 82, transcribiendo un párrafo de otro documento, también del Archivo de Simancas, C. y S.R. leg. 280, fol. 343.

24 PICATOSTE, F. (1981) *Apuntes para una Biblioteca Científica española del siglo XVI*. Madrid, Imprenta de Manuel Tello.