

# Instrumentos de nivelación de terrenos y caños utilizados en Nueva España del siglo XVI al XIX

*Dedico el presente escrito a la memoria de Leonardo Icaza Lomelí, amigo entrañable y condiscípulo de la licenciatura; compañero de trabajo en la Dirección de Obras de Mejoramiento Social de la SOP; mi maestro en la maestría en la Escuela Nacional de Conservación, Restauración y Museografía del INAH y tutor en el doctorado en arquitectura en la Universidad Nacional Autónoma de México.*

En México, durante el virreinato y parte del siglo XIX, para nivelar terrenos y caños se utilizaron instrumentos heredados de los romanos, traídos a estas tierras por los españoles. El objetivo de este artículo es acercarse a algunos de esos instrumentos y conocer cómo se hacían, con qué materiales, sus dimensiones y cómo se utilizaban.

*Palabras clave:* caño, nivel de tranco, corbate, fray Andrés de San Miguel, Juanelo Turriano.

Para construir estos instrumentos se requería de conocimientos de geometría: “Para haber de tratar de materia de niveles, como he prometido, convenía que yo fuese otro Julio Frontino u otro Vitrubio o otro Arquímedes, por ser ello cosa de mucho y más artificio de lo que el vulgo piensa. Para saber fabricar semejante cosa requiere geometría, para hacer un nivel, que al vulgo les parece cosa muy fácil, cosa de muy poca calidad y cosa muy común de hacer, que no hay labrador que no pretenda hacerle, ni empedrador”.<sup>1</sup>

Eran necesarios para los canteros y maestros de casas. Imprescindibles para los que llevaban el agua de una a otra parte.<sup>2</sup> Para conocer la diferencia de alturas entre distintos puntos y saber cuál tierra era más baja que la otra. Con estos instrumentos se conoce la travesía o diferencia. Existieron diversos instrumentos fabricados en distintos géneros, inventados por filósofos y astrólogos.

El conocimiento sobre los aparatos utilizados en Europa pasó al territorio americano con los emigrantes españoles del siglo XVI. En el XVII, el fraile y arquitecto Andrés de San Miguel, en su tratado de arquitectura, describe cómo hacer dos instrumentos de nivela-

\* Coordinación Nacional de Monumentos Históricos, INAH.

<sup>1</sup> José Antonio García Diego, reflexiones de *Los veintidós libros de los ingenios y máquinas de Juanelo Turriano*, Madrid, Fundación Juanelo Turriano, Doce Calles/Biblioteca Nacional de España (BNE), 1996, p. 137.

<sup>2</sup> Llamados vulgarmente “fronteros”.

ción. Estos instrumentos se hacían de madera, algunos con partes de bronce, y los había también elaborados en hierro.

### Instrumento para asentar caños

Por su escasa altura este instrumento (figura 1) se empleaba en particular en caños que estuvieran cubiertos. También era utilizado en las minas.

Se componía de una regla de veinte pies de largo<sup>3</sup> con un pedazo de madera en cada extremo, cada uno de éstos con una plomada pequeña. Cuando la regla se asentaba llana en el suelo, señalaban la declinación que era un quinto de *dedo*<sup>4</sup> para esa longitud de regla.<sup>5</sup> La pendiente era suficiente para que el agua corriera libre por los caños y los exponía en menor grado a las roturas, siempre que fueran correctamente asentados.<sup>6</sup>

Cada 100 *pies* de longitud de un caño, la inclinación medirá un *dedo*.

Para conocer la pendiente que se daba a los caños con este instrumento, efectuemos la división con los factores expresados en la misma unidad. Convirtamos los 100 *pies* a su equivalente en dedos.<sup>7</sup> La pendiente resultará igual a 1/1 600.<sup>8</sup>

<sup>3</sup> El *pie* equivale a 0.28 m; es la tercera parte de la *vara* mexicana que mide 0.84 m; veinte *pies* suman 5.60 m.

<sup>4</sup> Un *dedo* es la cuarenta y ochava parte de una vara; equivale a 17.50 mm. La quinta parte de un *dedo* mide 3.50 mm.

<sup>5</sup> La pendiente se calcula dividiendo la declinación de 1/5 de *dedo* entre los 20 *pies* de longitud de la regla. Para hacer la operación, el divisor y el dividendo deberán estar en la misma unidad de medida. Conversión de los 20 *pies* a quintos de *dedo*: 20 *pies*  $\times$  16 *dedos/pie*  $\times$  5 quintos de *dedo/dedo* = 1 600 quintos de *dedo*. La pendiente resulta ser de 1 quinto de *dedo*/1 600 quintos de *dedo*, igual a 1/1 600.

<sup>6</sup> José Antonio García Diego, *op. cit.*, p. 172.

<sup>7</sup> Un *pie* mide cuatro *palmas*, el *pulmo* es igual a cuatro *dedos*; el *pie* mide 16 *dedos*, por lo que 100 *pies* equivalen a 1 600 *dedos*.

<sup>8</sup> La pendiente obtenida es válida para cualquiera de los sistemas de medición que utilicemos. La expresión será: 1 unidad de medida dividida entre 1 600 unidades de esa misma medida; por ejemplo, si un caño recorre 1 600 *varas*, la declinación será igual a una *vara*; si ese mismo caño recorre 1 600 m



Figura 1. Este instrumento para asentar caños figura con el número 38 en la página 172 del volumen 1 de José Antonio García Diego, *op. cit.*

Comúnmente entendemos las pendientes conociendo el ángulo que resulta entre la horizontal y la línea recta inclinada de asentamiento del caño.

La pendiente que se obtiene con este instrumento es de 2'9" (2 *minutos* 9 *segundos*),<sup>9</sup> que resulta imperceptible para nosotros, pero suficiente para que el agua, por su propio peso, se desplace por el caño.

### Nivel de albañil o *disímetro*

Es un triángulo isósceles rectangular, de cuyo vértice pende una plomada, un listón paralelo al lado mayor de la base, tiene en su parte media una señal que indica la línea vertical de la plomada. Para hallar la base a que corresponde se coloca el nivel sobre una regla, cuando el hilo de la plomada corresponde sobre la línea del listón marcado, diremos que está la base a nivel. La línea que marque la regla será la de nivel<sup>10</sup> (figura 2).

la declinación será de 1 m. 1/1 600 = 0.000625; si se recorren 50 m la declinación resulta: 50 m  $\times$  0.000625 = 0.03 m.

<sup>9</sup> Para esto, imaginemos dos radios de 1 600 *unidades* de longitud, que partiendo del mismo centro se aparten entre sí al tocar el círculo, una unidad de medida.

P = Perímetro.

D = Diámetro = 2 r = 2  $\times$  1 600 u = 3 200 u.

P = D  $\pi$  = 3 200 u  $\times$  3.1416 = 10 053.12 u;  $\frac{10\ 053.12\ u}{360^\circ} = 27.93\ u/^\circ$ .

El *grado* se divide en 60'; el *minuto* en 60". Para obtener la cantidad de minutos que mide la pendiente se realiza la siguiente operación:

$$\frac{60' / \circ}{27.93\ u / \circ} = 2.15' \text{ de pendiente.}$$

El resultado es: 2 <sup>15</sup>/<sub>100</sub> *minutos*. Los 15 centésimos de *minuto* corresponden a:

$$0.15' \times 60'' / ' = 9''.$$

La pendiente para asentar caños que se obtiene con este instrumento es de 2' 9" (2 *minutos* 9 *segundos*).

<sup>10</sup> D. Faustino Bastús, *Manual del agrimensor que contiene, a*

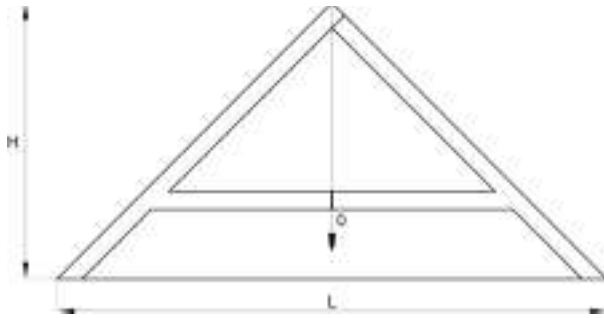


Figura 2. Nivel de albañil o disímetro. Ilustración que aparece en Faustino Bastús, *Manual del agrimensor que contiene, a más de las mediciones, las tablas de reducción y un diccionario de voces técnicas*, París, Librería de Rosa y Bouret, 1861, p. 51.

Las dimensiones de este instrumento serían variables en función de las longitudes de los elementos arquitectónicos a nivelar, siendo la base (L) el doble de la altura (H).

### Nivel de tranco

Fue el más común entre los instrumentos y el que contó con el mayor número de usuarios. Hecho a modo de una A mayúscula, también fue hecho sobre un triángulo equilátero que sólo tenía dos piernas o lados y que semejaba la A por la posición de la traviesa. De la cúspide pendía un hilo que remataba con un peso; la traviesa tenía marcas, una al centro que cuando las dos piernas se posaban en sitios que coincidían en su nivel era señalada por la cuerda. Cualquier variación en las alturas de los sitios donde se posaran las piernas se manifestaba en las marcas que se alejaban del centro de la traviesa, señalando de ese modo la diferencia de niveles. Este instrumento se hacía en madera de pino seca, de veta derecha sin nudos y escuadrada. De tres *dedos*<sup>11</sup> de grueso, las dos piernas de la misma longitud.

*más de las mediciones, las tablas de reducción y un diccionario de voces técnicas*, París, Librería de Rosa y Bouret, 1861, pp. 51 y 52.

<sup>11</sup> Un *dedo* es la cuarenta y ochava parte de una *vara*; equivale a 1.75 cm. Por lo tanto, tres *dedos* son 5.25 cm.

Se hacía de 20 *palmas*<sup>12</sup> de alto por razón de que entre mayor fuera este instrumento la nivelación resultaría más exacta. Los 20 *palmas* de su altura equivalen a cinco *pies* o a un *paso de Salomón*, que en el sistema métrico decimal corresponde a 1.40 *metros*, medida que resulta cómoda para el hombre que en promedio alcanza una estatura de seis *pies*, equivalentes a 1.68 *metros*.

El instrumento se colocaba sobre una superficie nivelada, se marcaba la parte central de la traviesa por la que pasaba la cuerda que sostenía el peso (figura 3a), se hacía girar el instrumento 180°; si la cuerda pasaba nuevamente por el centro de la traviesa, llamada la línea de la rectitud, las piernas tendrían la misma longitud y se devolvía el nivel a la posición inicial; en el suelo se marcaban los *palmas*, medios *palmas*, cuartos de *palmos* y *minutos*<sup>13</sup> partiendo del centro del instrumento, hacia cada uno de los extremos, y se procedía a señalar los *palmas* en la traviesa, como tirando líneas en una perspectiva cuyo punto de fuga coincidiera con el ápice del instrumento (figura 3b). Con un dibujo a escala se comprobó que este método es incorrecto.

La mejor manera de obtener la graduación de la traviesa es colocando el instrumento en una super-

<sup>12</sup> *Palmo* son cuatro *dedos*, o lo que ocupan 16 *granos de cebada*; es la distancia del auricular al índice, así lo muestra Vitruvio; Eduardo Báez Macías, notas y versión paleográfica, *Obras de fray Andrés de San Miguel*, México, UNAM, 1969, p. 131. La medida de cuatro *dedos* se llama *mano* (*Ordenanzas de tierras y aguas*, México, Imprenta de Vicente G. Torres, 1842, p. 67). El *palmos* equivale a 7 cm, de tal manera que 20 *palmas* medirán 1.40 m, medida que equivale a un *paso de Salomón*, *paso geométrico* o *vara antigua*, que así se llama el que se mide o compone de cinco tercias ( $5 \times 0.28 \text{ m} = 1.40 \text{ m}$ ) o bien, es una *vara* y dos tercias de las comunes ( $0.84 \text{ m} + 2 (0.28 \text{ m}) = 1.40 \text{ m}$ ); cfr. Eduardo Báez Macías, *op. cit.*, p. 132.

<sup>13</sup> El *palmos* está formado por 4 *dedos* (3.50 cm), el cuarto de *palmos* por 1 *dedo* (1.75 cm) y el *dedo* por 4 *minutos* (también llamados *granos de cebada*, *granos de trigo* o simplemente *granos*, y cualquiera que sea el nombre con el que se les identifique, cada uno equivale a 4.38 mm). Eduardo Báez Macías, *op. cit.* Minuto (del latín *minutus*, “pequeño”); María Moliner, *Diccionario de uso del español*, vol. II (I-Z), Madrid, Gredos, 2007, p. 354.

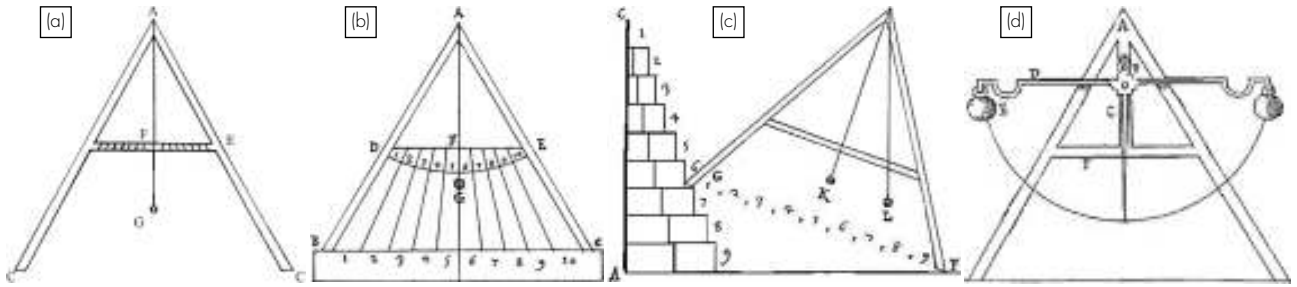


Figura 3. Niveles de tranco. Tomados de José Antonio García Diego, *op. cit.* a) figura 2a, p. 138; b) figura 2b, p. 139; c) figura 2c, p. 144; d) figura 2d, p. 147.

ficie a nivel y levantando una de las piernas consecutivamente a alturas incrementadas a medios *palmas* o a *palmas* y procediendo a marcar en la travesía el paso de la cuerda que soporta la plomada, y hacer lo mismo con la otra pierna<sup>14</sup> (figura 3c).

El dibujo de la figura 4 recrea las instrucciones del párrafo anterior, con la proyección del nivel de tranco y de la cuerda de la plomada en cada una de las 10 posiciones. En esta representación, a es la cúspide y la línea b-d la base del instrumento. El punto b actúa como bisagra y d sube un *palmo* cada vez, hasta 10 *palmas*; el palmo equivale a 7 *centímetros*. La línea de la rectitud, cuando el aparato está a nivel, va de la cúspide a, al 0 de la travesía; en esta figura se ilustran las 10 posiciones del nivel de tranco, cuyo punto d asciende palmo a palmo, y las 10 líneas verticales que inciden en la travesía en la que hemos de marcar los puntos del 1 al 10.

La pendiente para cada una de las 10 posiciones de este aparato es igual a la declinación dividida por la distancia, medida horizontalmente, que resulta entre los puntos b-d. Cuando en el nivel de tranco la línea de la rectitud cruza la travesía por el punto 1, la pendiente es igual a  $0.07/1.62$ ; cuando esa línea pasa por el punto 2, la pendiente es igual a  $0.14/1.61$ ; cuando señala el punto 3, será igual a  $0.21/1.60$ , y así sucesivamente hasta llegar a la marca 10 de la travesía en que la pendiente será igual a  $0.70/1.46$ .

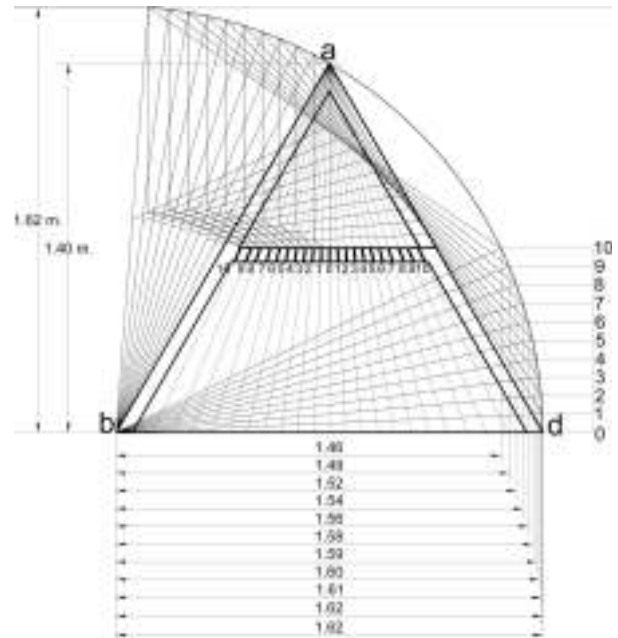


Figura 4. Proyección del nivel de tranco propuesta por el autor para obtener las líneas de la travesía.

Otro nivel de tranco similar al anterior en cuanto a la forma de A mayúscula, sin embargo muy distinto en su hechura, ya que no lleva una plomada al centro sino un brazo a modo de balanza, con dos pesos de plomo iguales entre ellos en forma y peso, uno en cada extremo del brazo y con una aguja al centro y hacia abajo, que es la que señala en la travesía la diferencia de nivel que hubiera entre las superficies de asiento de las piernas del aparato<sup>15</sup> (figura 3d).

<sup>14</sup> José Antonio García Diego, *op. cit.*, pp. 138-139 y 144.

<sup>15</sup> *Ibidem*, p. 147.

## Nivel ordinario

El arquitecto y fraile Andrés de San Miguel describió un nivel que denominó ordinario, que se asemejaba al nivel de tranco (figura 5).

Para hacerlo, se traza sobre una superficie muy lisa y llana<sup>16</sup> una circunferencia *abcd* con centro en *e* y diámetro de 10 *pies*,<sup>17</sup> se dibujan los diámetros *ac* y *bd* que dividen al círculo en cuatro cuadrantes. Se divide el radio *ce* en 10 partes iguales; cada parte mide medio *pie*.<sup>18</sup> Se apoya el compás en *c* y se trazan los semicírculos que pasan por las divisiones y parten el arco *bcd*. De *a* se tiran las líneas *ab* y *ad* que serán los brazos del nivel; a su vez, con centro en *a* se marcan sobre los brazos los puntos *l* y *m*, que se unen con la línea recta *lm*, que será la traviesa.<sup>19</sup> De los puntos del arco *bcd* se lanzan líneas rectas hacia el punto *a*; estas líneas —a su paso— dividen la traviesa, y por lo tanto cada una de estas divisiones significa medio *pie*.

El ángulo superior de la escuadra resultante es de 90°, por lo tanto los dos ángulos inferiores son de 45°, la altura es de 5 *pies*;<sup>20</sup> de punta a punta de los brazos hay 10 *pies*,<sup>21</sup> y los brazos tienen una longitud de 7 *pies* y 10 *líneas* (figura 6).<sup>22</sup>

Para usar este nivel, se le colocaban puntas de acero, para que no se gastaran. Estas puntas se asentaban en unas tablas cuadradas de un *palmo*<sup>23</sup>

<sup>16</sup> Fray Andrés de San Miguel dice: “Cuando se hubiere de hacer este nivel, búsquese una pared o cosa semejante”. Eduardo Báez Macías, *op. cit.*, p. 223.

<sup>17</sup> 2.80 m.

<sup>18</sup> 0.14 m.

<sup>19</sup> Fray Andrés recomienda: “la traviesa *lm*, cuanto más cerca se pusiére de los puntos *bd*, será mejor porque serán mayores las divisiones; Eduardo Báez Macías, *op. cit.*, p. 224.

<sup>20</sup> Cinco *pies* son una *vara* y dos *pies*, cinco de esos *pies* suman un *paso de Salomón* y equivalen a 1.40 m; Mariano Galván, *Ordenanzas de tierras y Aguas*, París, Librería de Rosa y Bouret, 1868, p. 67.

<sup>21</sup> Diez *pies* miden tres *varas* y un *pie*, o dos *pasos de Salomón* que equivalen a 2.80 m.

<sup>22</sup> Siete *pies* y diez *líneas* equivalen a 1.98 m, ya que el *pie* mide 0.28 m y la *línea*, que es la doceava parte de la *pulgada* mexicana, equivale a 0.00194 m, de donde  $7 \times 0.28 \text{ m} + 10 \times 0.00194 \text{ m} = 1.98 \text{ m}$ .

<sup>23</sup> Un *palmo* equivale a 0.07 m.

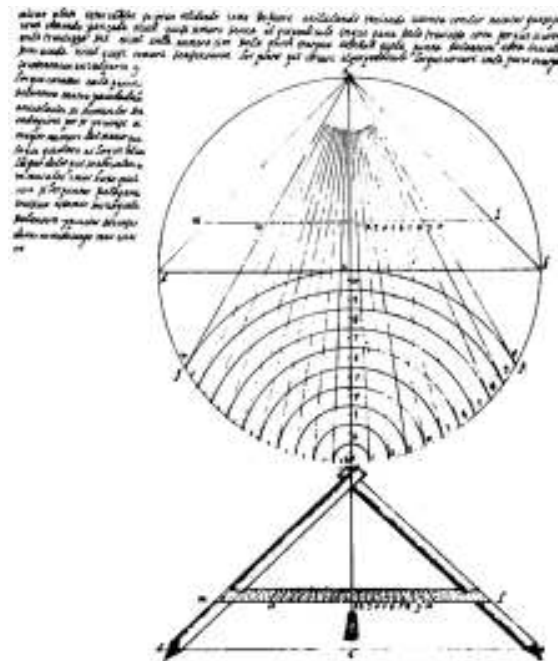


Figura 5. Eduardo Báez Macías, *op. cit.*, p. XCVI.

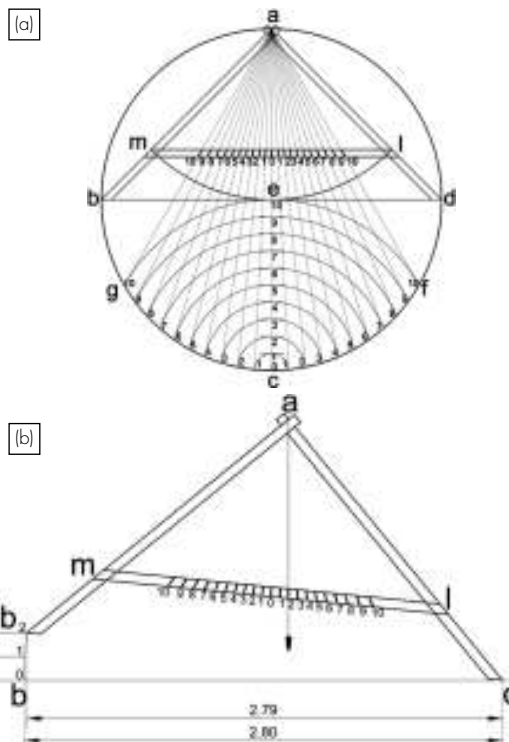


Figura 6. a) Obtención del nivel ordinario descrito por fray Andrés de San Miguel. b) Comprobación de la exactitud del aparato al elevar la pierna *ab* a alturas incrementadas consecutivamente medio *pie* y verificar que la cuerda con la plomada pasa por la línea de la traviesa que se obtuvo con el método de fray Andrés de San Miguel.

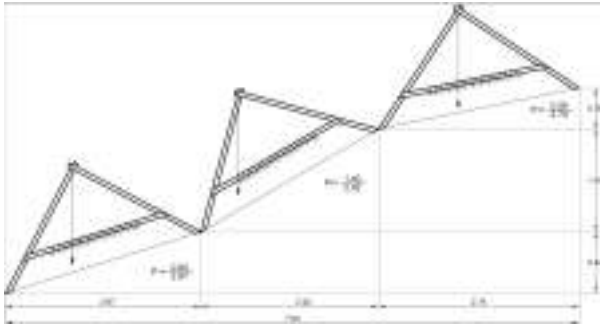


Figura 7. Modelo con tres estaciones utilizando el nivel de tranco descrito por fray Andrés de San Miguel, aplicado en un terreno en el que se han exagerado las pendientes para hacer más explícito el ejercicio matemático.

por lado, con una chapa de acero en el centro. Estas tablillas se recorrían conforme se avanzaba en el nivelando.

Los niveles de tranco (figura 7) y el nivel ordinario no miden de manera directa el terreno<sup>24</sup> sobre el que se aplican; sin embargo, la longitud o latitud del terreno, según sea el caso, se pueden calcular para cada estación, utilizando el teorema de Pitágoras (el cuadrado de la hipotenusa es igual a la suma de los cuadrados de los catetos).

La distancia b-d corresponde a la hipotenusa (k) que es constante; la declinación, que es variable, la mide el aparato, y es el cateto (a); la longitud del terreno, que es otra variable, es el cateto (b) y es la incógnita. La pendiente es  $p = a/b$ .

$$k^2 = a^2 + b^2;$$

$$b^2 = k^2 - a^2$$

$$b = \sqrt{k^2 - a^2}$$

$$b_1 = \sqrt{2.80^2 - 0.84^2} = 2.67 \text{ m.}$$

$$b_2 = \sqrt{2.80^2 - 1.40^2} = 2.42 \text{ m.}$$

$$b_3 = \sqrt{2.80^2 - 0.56^2} = 2.74 \text{ m.}$$

Longitud total del terreno =  $b_1 + b_2 + b_3 = 7.83 \text{ m.}$

### Nivel de grados

Otro instrumento para nivelar fue el nivel de grados, que era más práctico que los otros instru-

<sup>24</sup> Los terrenos se miden siempre de manera horizontal.

mentos; con él, además de obtener los niveles, se medía exactamente la longitud y la latitud del camino que se nivelaba, y también se obtenía la profundidad u hondura.

Se fabricaba de la siguiente manera: se hacía un pie triangular de madera, como los de los candellabros,<sup>25</sup> en el que se asentaba una regla vertical de madera muy sólida llamada astil, bien escuadrada, seca, sin nudos, de sección cuadrangular de tres dedos<sup>26</sup> por lado con una altura no mayor de 20 *palmas*;<sup>27</sup> en lo más alto de la regla llevaba una travesía de 14 *palmas*<sup>28</sup> fijada a modo de escuadra de manera tal que no pudiera hacer ningún movimiento. A cada extremo la travesía llevaba una polea o pequeña garrucha. Por esas garruchas pasaba un largo cordón dimensionado, con marcas a cada *palmo*,<sup>29</sup> con una plomada en el extremo de la travesía más alejado de la regla y por el otro extremo el cordón llegaba a una rueda graduada con los *minutos*,<sup>30</sup> que sumaban un *palmo*,<sup>31</sup> esta rueda era accionada por una manivela (figura 8); el cordel tenía una longitud bastante mayor a la altura del aparato para poder medir las profundidades. Se tomaba el nivel del terreno a cada 14 *palmas*,<sup>32</sup> ya que el aparato se corría al punto inmediato, con lo que se llevaba también el cómputo de la distancia en línea recta aun en el monte, ya que el instrumento se mantenía siempre a nivel.<sup>33</sup>

<sup>25</sup> Este *pie* llevaba un peso para mantenerlo a nivel.

<sup>26</sup> 5.25 cm.

<sup>27</sup> El *palmo* equivale a 0.07 m, por lo que 20 *palmas* serán: 20 *palmas* × 0.07 m/*palmo* = 1.40 m.

<sup>28</sup> Catorce *palmas* de 0.07 m suman 0.98 m; esta medida corresponde al largo del cordón de polea a polea.

<sup>29</sup> A cada 0.07 m.

<sup>30</sup> El *grano de cebada*, *minuto*, *grano de trigo* o simplemente llamado *grano* equivale a 4.375 mm. Cuatro *granos de cebada* juntos, tomados por la parte más gruesa del grano, ocupan la distancia de un *dedo*. La vara mide 192 *granos de cebada*, *minutos* o *granos de trigo*; Mariano Galván, *op. cit.*, p. 157.

<sup>31</sup> 16 *minutos* o 16 *granos*, ya que el *minuto* y el *grano* miden lo mismo, suman un *palmo*.

<sup>32</sup> 0.98 m.

<sup>33</sup> José Antonio García Diego, *op. cit.*, pp. 141-143.

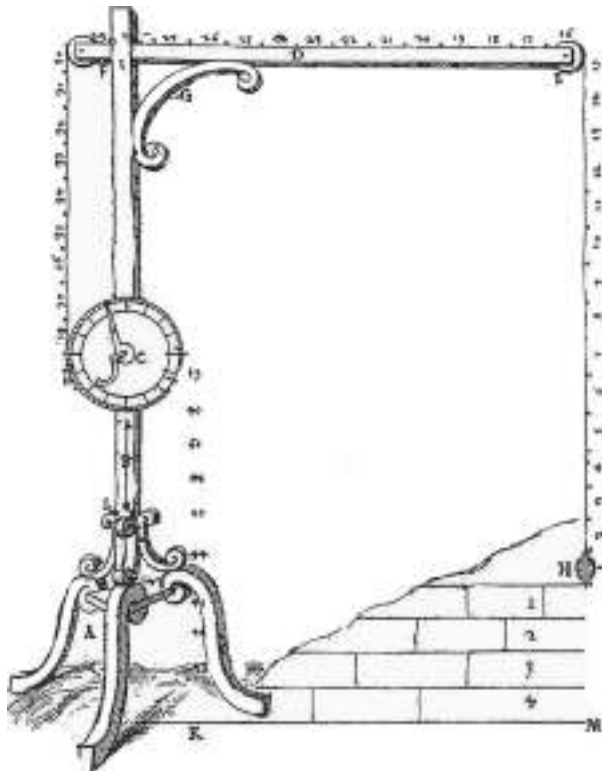


Figura 8. Nivel de grados. Figura 15 de la página 142v. 1 de José Antonio García Diego, *op. cit*

## El corbate

Llamado así por Vitruvio, y nivel de agua o peso por el vulgo. Es un aparato en forma de T latina; su altura está relacionada con la altura promedio de los ojos del hombre<sup>34</sup> que lo ha de utilizar.

En un pie de madera muy seca y sólida se asienta un primer tramo hueco del fuste del corbate; un segundo tramo del fuste tiene en la parte superior una pieza en la que se acoplará el corbate, y en el extremo inferior un alma que pasa por dentro del primer tramo. En ese segundo tramo se ubica una manivela de hierro en el cual va ceñido un cordel que sirve para atirantar el nivel

<sup>34</sup> Si la altura promedio del hombre era de seis *pies* (1.68 m), para resultar a la altura de los ojos de ese hombre, el aparato debió medir entre 5 *pies* y 5.5 *pies* (que equivalen a 1.40 y 1.54 m).

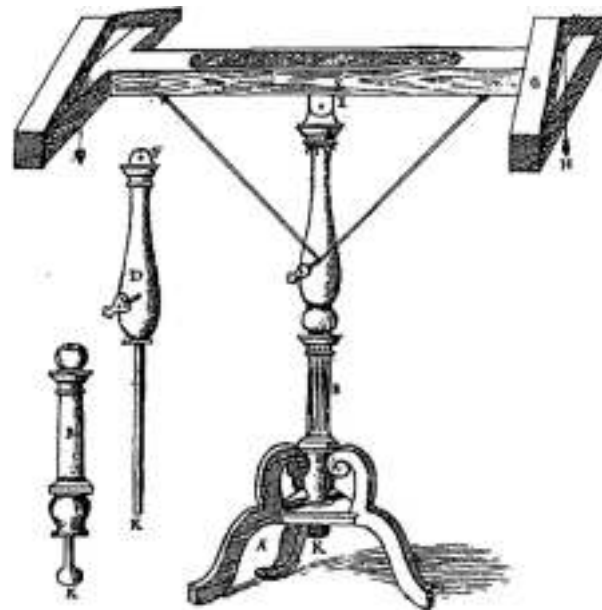


Figura 9. Corbate, nivel de agua o peso. Fig. 18 de la pág. 145v.1 de José Antonio García Diego, *op. cit.*

o corbate y asegurar que quede horizontal siguiendo la línea de la dirección. La pieza horizontal está cavada para poner agua y así determinar cuando está nivelado el aparato; en cada extremo hay una traviesa con frontispicio y una plomada (figura 9).

Con este instrumento se nivela a borneo; bajo los frontispicios están fijas dos planchuelas de hierro agujereadas para bornear<sup>35</sup> por ellas. Un hombre llevará una banderilla y se ubicará de 50 en 50 *pasos*,<sup>36</sup> y junto con la banderilla ha de llevar el altor del nivel, y en el asta de la banderilla

<sup>35</sup> Bornear (del francés *bornoyer*, de *borgne*, "tuerto"), tr. Mirar con un solo ojo; por ejemplo, a lo largo del borde de una cosa, para apreciar si está recta o plana, o a lo largo de una fila de cosas para ver si están alineadas. = Retranquear. María Moliner, *op. cit.*, vol. A-H, p. 401.

<sup>36</sup> Paso, espacio que se avanza en cada uno de estos movimientos; *ibidem*, vol. I-Z, p. 595. Su medida, si no se establece un patrón, dependerá de cada individuo que lo ejecute. Si el paso fuera de dos *pies*, mediría dos tercios de *vara*, esto es, en el sistema métrico decimal 0.56 m, por lo que 50 *pasos* serían 33 *varas* y 1 *pie*, y sumarían 28 m. Sin embargo, se aconsejaba para un mejor oficio, no fuera mayor de 50 *pies*, esto es, 14 m cada vez que bornearan.

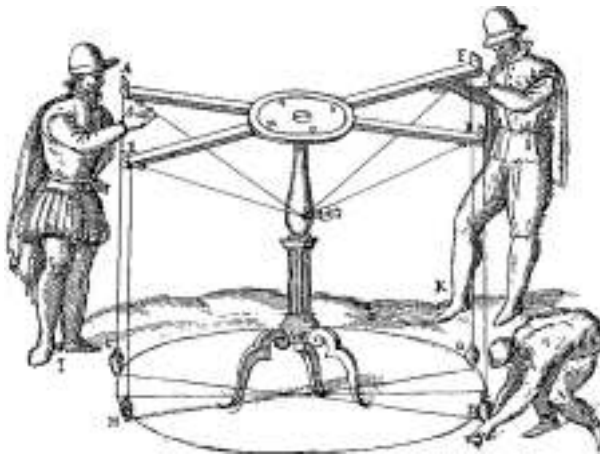


Figura 10. Figura 24 de la página 152v. 1 de José Antonio García Diego, *op. cit.*

ha de tener señalados los *palmas* y *minutos*. Un tercer hombre que porta una regla, al desplazar el corbate, ocupará su sitio y se marcará la altura del aparato; el corbate ocupará la posición de la banderilla y el segundo hombre se desplazará 50 *pasos*, de manera que entre el segundo y el tercer hombre habrá 100 *pasos* con el corbate en el centro de ellos, de modo tal que será posible nivelar aquello que había ya nivelado, al bornear hacia una y otra direcciones.

Se requería de una vista excelente y tener los conocimientos necesarios para bornear.

El aparato más útil para determinar los niveles de terrenos era el Corbate de Vitruvio,<sup>37</sup> utilizado cuando se deseaba llevar agua de un valle a un pueblo y había necesidad de trazar el camino que había de seguir la obra para la conducción del agua, que no siempre sería en línea recta, sino que a menudo tendría quiebres (figura 10).

Otro instrumento bastante parecido al corbate de Vitruvio podía ser de madera o de fierro, difería en el modo en que se ponía a nivel el propio aparato. El corbate, como se vio, se valía de una canaladura a la que se le ponía agua y así se apreciaba su nivel, que

<sup>37</sup> Que podía girar y así bornear en cualquier dirección.

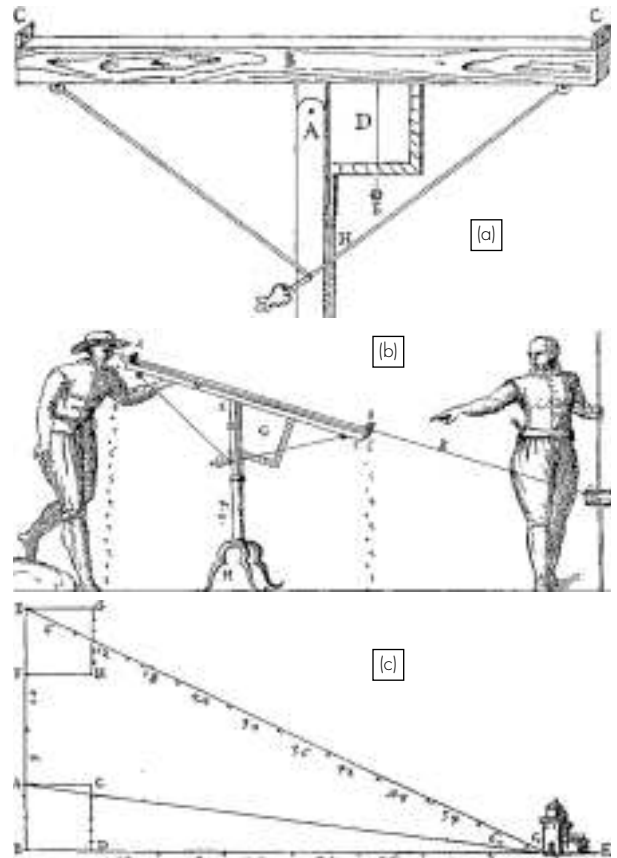


Figura 11. a) figura 19 de la página 147v. 1 de José Antonio García Diego, *op. cit.* b) figura 21 de la página 148v. 1 de José Antonio García Diego, *op. cit.* c) figura 26 de la página 154v. 1 de José Antonio García Diego, *op. cit.*

siempre debía ser horizontal. Este otro instrumento se nivelaba por medio de una escuadra y una plomada (figura 11a), elementos que permitían conocer su inclinación. Por lo tanto, con este aparato se podía nivelar (figura 11b) y también se podían tomar las longitudes valiéndose del borneo (figura 11c).

### El cuadro geométrico

Era utilizado para nivelar y para determinar alturas. Era un cuadrado regular (figura 12) que convenía fuera grande, de siete a ocho *palmas*<sup>38</sup> de alto, con

<sup>38</sup> Entre 0.49 y 0.56 m.



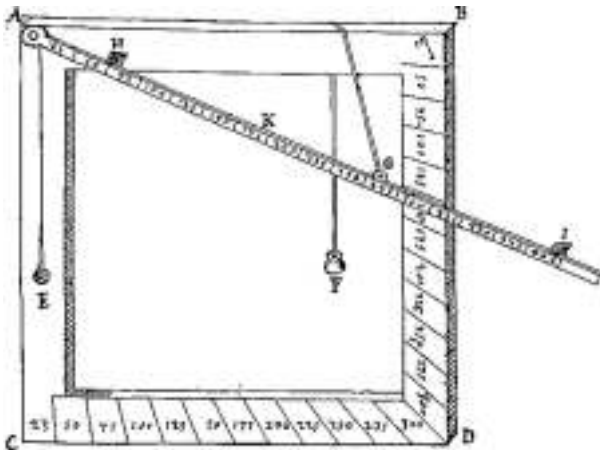


Figura 12. Cuadro geométrico. Figura 22 de la página 150v. 1 de José Antonio García Diego, *op. cit.*

una regla que podía ser de metal o de madera, llamada dioptra, fijada en uno de sus ángulos con un clavo o tornillo que le permitía girar; esta dioptra debía ser tan larga que llegara al ángulo opuesto y aun lo sobrepasara, con dos mirillas, pínulas o pinácides fijadas en ambos extremos de la dioptra, por las que pasaría el rayo de la línea visual. Debajo del ángulo donde se fijaba la dioptra llevaba una plomada de dos o tres *palmas*<sup>39</sup> de largo, para nivelar el aparato; además, asida a la dioptra llevaba otra plomada que servía para fijarla cuando se borneaba. Tanto los dos lados opuestos al ángulo donde giraba la dioptra y en ésta misma, tenían señales y números con los que se podía calcular el ángulo que existía entre la dioptra y la línea de la base del cuadro, y conociendo la distancia del aparato hacia el objeto observado, se determinaba su altura.

Otro nivel diferente y muy distinto en la hechura respecto de los otros, servía para bornear y nivelar a un tiempo. Estaba formado por un círculo colocado encima de una escuadra que asentaba su ángulo en el suelo; en lugar de plomada tenía un badajo de hierro que señalaba los *grados* o *palmas* del círculo, casi al modo del cuadro geométri-

<sup>39</sup> De 0.14 a 0.21 m.

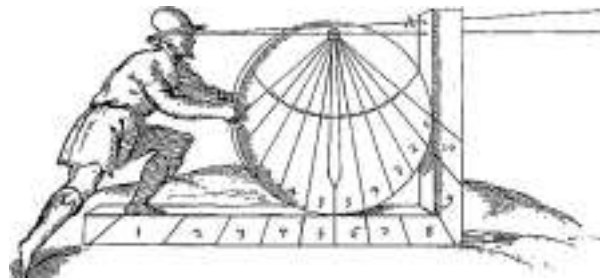


Figura 13. Figura 27 de la página 154v. 1 de José Antonio García Diego, *op. cit.*

co. La escuadra se hacía de tablas delgadas. Por la parte superior de la escuadra se podía bornear. Al declinar el terreno el badajo lo señalaba en el círculo y daba su medición, asemejándose así a los de tranco (figura 13).

A quienes nivelaban a borneo se recomendaba que, cuanto más cortas fueran sus borneaduras, menores errores tendrían en su nivelación. Se aconsejaba para un mejor oficio, no fuera mayor de 50 *pies*<sup>40</sup> cada vez que bornearan.<sup>41</sup>

### Regla sobre dos pies

| 27

Fray Andrés de San Miguel describió cómo hacer dos instrumentos, de los muchos que existían, “con que se nivelan los caminos de las aguas”.<sup>42</sup>

Con uno de ellos, del que dice que “es muy cierto y fácil y acomodado para caminos largos”, y que no lo había “visto en autor alguno”, se obtiene la declinación del terreno mediante el borneo. Este aparato se compone de una regla horizontal,<sup>43</sup> con una longitud de cuatro a cinco *varas*,<sup>44</sup> que se coloca sobre dos piernas.<sup>45</sup> La primera pierna cuenta con un pie “para que

<sup>40</sup> 14 m.

<sup>41</sup> José Antonio García Diego, *op. cit.*, pp. 148-155.

<sup>42</sup> Eduardo Báez Macías, *op. cit.*, p. 223.

<sup>43</sup> La regla se mantenía horizontal valiéndose de una escuadra triangular con una plomada.

<sup>44</sup> De 3.36 o 4.20 m.

<sup>45</sup> En el texto de fray Andrés se les denomina pies de nivel; le he llamado piernas para evitar confusión con las partes que denomina pies y que realmente tienen esa forma y función.

no se mueva con facilidad”, y en la parte superior tiene una entrada para soportar<sup>46</sup> la regla, y que ésta “no se remueva a una ni a otra parte”. Esta pierna tenía una altura de *vara y media*,<sup>47</sup> altura cómoda para que un hombre de estatura media<sup>48</sup> realice el borneo. La segunda pierna es una varilla<sup>49</sup> que también cuenta con su pie para darle estabilidad y una tabla perforada (figura 14), de suerte que se pueda alzar y bajar para nivelar la regla, esta varilla es casi del doble de la altura de la primera pierna.

La regla se mantiene sin alabeos gracias a los codales<sup>50</sup> ubicados en sus extremos, que además serán dos puntos para el borneo. El tercer punto resultará en un asta colocada en una estación.

El asta tiene una señal coincidente con la altura de la primera pierna de la regla; un hombre colocaba un papel con una marca negra donde el rayo visual del borneo sobre los codales incidiera en el asta.

Además, este aparato contaba con dos tablillas iguales; sobre una se asentaba la primera pierna y sobre la otra el asta situada en la estación. Al desplazar el aparato, la primera pierna se asentaba en la tablilla dejada por el asta, y la que quedaba libre de la primera pierna se corría y servía para que se colocara en ella el asta en la estación siguiente. Fray Andrés abunda:

Véase si el papel está más bajo que la señal, que todo lo que estuviere, estará en aquella parte de la tierra más alta que donde está asentado el primer pie de la regla sobre la tablilla; mas si el papel se ve de la señal arriba, todo lo que se ve está allí la tierra más baja, mas si está en la señal, estará todo a un piso.

<sup>46</sup> Este soporte actúa como bisagra.

<sup>47</sup> 1.26 m.

<sup>48</sup> La altura media del hombre era de 6 pies, que equivalen a 1.68 m. Eduardo Báez Macías, *op. cit.*, p. 132.

<sup>49</sup> En el texto se le denomina pedazo de asta; le he llamado varilla para evitar confusión con el asta para el borneo.

<sup>50</sup> Codal (del latín *cubitales*, 8 Carp. Cada uno de los dos listones que se colocan en los extremos de una tabla para que no se alabee o para desalabearla. 10 Constr. Cada brazo de los dos del nivel de albañil. María Moliner, *op. cit.*, vol. A-H, p. 663.

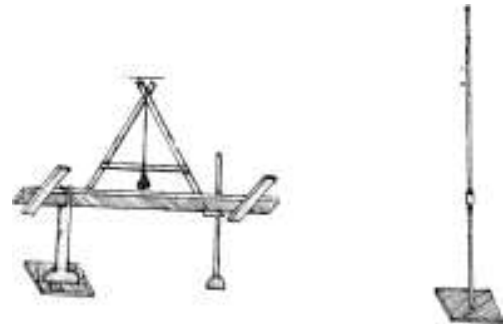


Figura 14. En esta ilustración vemos la regla con sus codales en los extremos; sobre ella descansa un nivel de albañil para darle la horizontalidad. A la izquierda se ve la primera pierna que posa su pie sobre una de las dos tablillas; a la derecha se aprecia la segunda pierna en forma de varilla sobre su pie, con la tabla perforada que se desplaza verticalmente sobre ella para permitir la horizontalidad de la regla. A la izquierda de este aparato se ve el asta en una estación, asentada en la segunda tablilla. Obsérvese que el asta tiene un recuadro que probablemente es el papel, y debajo de éste la marca que coincide en altura con la primera pierna. Eduardo Báez Macías, notas y versión paleográfica, *op. cit.*, p. XCV.

Probablemente, también en este caso la longitud máxima de las estaciones fuera de 50 *pies*.

## Conclusión

De los instrumentos presentados en este artículo, los más eficientes y prácticos para efectuar la nivelación de terrenos y la medición de grandes distancias son aquellos con que se borneaba, como el corbate y sus variantes, el cuadro geométrico, aquel aparato compuesto por una escuadra y un círculo con un badajo, y la regla sobre dos pies, ya que la longitud de las estaciones era de por lo menos 50 *pies*, que equivalen a 14 m.

Serían de utilidad para el registro de niveles y medición de terrenos de menores dimensiones, el nivel de tranco y sus variantes, incluido el nivel descrito por fray Andrés de San Miguel, al que llamó ordinario, y el nivel de grados, debido a que la longitud de las estaciones es la de la base del aparato, que en los de tranco es de 1.62 m, en el ordinario de 2.80 m, y en el caso del nivel de grados, la longitud de la estación es la de la traviesa, que mide 0.98 m.