

EL MOVIMIENTO DE LOS PROYECTILES Y LOS ESCRITOS DE LOS MILITARES ESPAÑOLES DEL SIGLO XVII

Juan Navarro Loidi

École Européenne, Luxembourg

Palabras clave: Balística, Tratados militares, Galileo en España, siglo XVII.

The trajectory of projectiles and the Spanish military writers of the seventeenth. century

Summary: Galileo's ideas had some effect on Spanish military writers. During the second half of the 17th century when the impact of Galilean mechanics was still very small in Spain, Mut and Chafrión wrote treatises on military studies following Galileo's theories of the trajectory of projectiles. In this work I have examined the influence of Galileo on other Spanish military writers of this period, such as Zepeda, Folch y Cardona, Buscayolo, Fernández de Medrano, Larrando de Mauleón, and Bayarte, and I conclude that they tried to avoid explanations about ballistics. The reason for this could be that neither the theory of impetus was very influential in Spain during the second half of the 17th. century, nor were Galileo's arguments convincing for them, and they preferred to avoid unnecessary explanation.

Key words: *Ballistics, Military Treatise, Galileo in Spain. seventeenth. Century.*

En el Renacimiento el movimiento de los cuerpos se explicaba de acuerdo con las ideas que sobre filosofía natural desarrolló Aristóteles, corregidas por la teoría medieval de los «ímpetus». Esta filosofía fue adaptada con éxito a la artillería por Tartaglia en su libro *La Nova Scientia* (1537). Su teoría se acomodaba bien a los conocimientos prácticos de los artilleros del siglo XVI, pero no permitía hacer previsiones cuantitativas y cuando las hacía, sobre los alcances por ejemplo, resultaban bastante inexactas.

Las ideas de Tartaglia se fueron desarrollando y mejorando durante los siglos XVI y XVII. Frente a ellas, Galileo Galilei propuso en sus *Discorsi* (1638) una nueva forma de considerar el movimiento. Aunque no aplicó su teoría explícitamente a la artillería, parece que Torricelli y él esperaban que fuera utilizable. Pero, la experiencia mostró enseguida que no se puede despreciar en balística la resistencia del aire. El movimiento de un proyectil en un medio resistente se fue resolviendo con los trabajos de Huygens, Newton y Johan Bernoulli, quien en 1719 ofreció una vía para tratar el caso general.

Los libros de artillería fueron incorporando las ideas de Galileo con cierto retraso y, a partir de 1675, su teoría fue reemplazando la teoría de los «ímpetu». Los tratados de artillería

que estudiaban el movimiento de proyectiles utilizando las soluciones de Newton y Bernoulli, no aparecieron hasta mediados del siglo XVIII. Este desfase entre la aceptación de una teoría científica y su aplicación a las técnicas era normal en el siglo XVII. Además, en la artillería un mejor conocimiento de las trayectorias de los proyectiles ayudaba poco, por la poca utilidad que tenían, para los artilleros de los siglos XVII y XVIII, los conocimientos de balística exterior, pues ignoraban la forma de determinar la velocidad y la dirección inicial de la bala al salir del cañón¹.

1. El movimiento de los proyectiles en los tratados militares del siglo XVII

En la primera mitad del siglo XVII los tratados de artillería en castellano seguían la teoría de los «ímpetu» y en particular a Tartaglia, aunque a menudo la criticaban y corregían. En la segunda mitad del siglo XVII hay algún tratado militar defendiendo las teorías de Galileo y Dávila y Heredia continuaba defendiendo las teorías de Aristóteles, pero la mayor parte de los escritos de artillería evitaban dar explicaciones generales.

2. Los autores pre-galileanos

A finales del siglo XVI y comienzos del XVII se publicaron varios tratados en castellano que desarrollaban las teorías de Tartaglia. Los más conocidos son *El Perfecto Capitán* (1590) de Diego de Alaba y Viamont, la *Platica manual de Artilleria* (1592) de Luis Collado y el *Tratado de la Artilleria y uso della* (1613) de Diego Ufano. Menos estudiada en la parte de balística es el *Tratado de la Artilleria y de Fortificación* (1611) de Cristóbal Lechuga, probablemente porque es menos original, él mismo reconocía que seguía al ingeniero italiano Gabriel Busca. El último tratado de este periodo es *El Perfecto Artillero* (1642) de Julio Cesar Firrufino; es una obra enciclopédica, pero poco original. Se publicó después de la aparición de los *Discorsi* de Galileo, aunque probablemente fue escrita con anterioridad. Firrufino se mantiene fiel a Tartaglia y no menciona a Galileo ni a otros autores contemporáneos.

Para analizar como explicaban el movimiento de los proyectiles estos autores, se va a comentar el libro de Firrufino, que es el último publicado y en algunos casos el de Lechuga. Los otros autores han sido más estudiados².

La base de la cinemática para Firrufino estaba en las ideas de movimiento violento y de movimiento natural que introduce al comienzo del libro en un capítulo de: «Definiciones de los términos propios y apropiados de la theorica y practica de la artilleria». En este apartado, junto a definiciones geométricas tomadas de los *Elementos*, van las definiciones de movimiento natural y violento y una «definición» que dice que los graves al alejarse del origen del

¹ Para profundizar más en estos temas se puede consultar Dugas (1950) y Hall (1952).

² Estos libros están estudiados por Hall (1952), Navarro Brotons en López Piñero et al. (1983) y Vigón (1947).

movimiento aumentan la velocidad, si el movimiento es natural y la disminuyen si es violento. (Firrufino, 1642: f.3r./v)

La trayectoria que propone Firrufino para una bala consta de un trozo inicial recto y otro que es un arco de una circunferencia. Siguiendo a Tartaglia y criticando a García de Cespedes, dice que la primera parte no puede ser completamente recta; pero, cuando en el capítulo XXV dibuja las trayectorias de las balas de cañón para distintas elevaciones, traza un trozo totalmente recto y otro circular. Para Lechuga hay una sección recta inicial, después sigue una parte curva que puede ser parábola o hipérbola y puede haber una parte final recta.

Firrufino defiende en su libro que la velocidad del movimiento violento hace que los cuerpos pesen menos y por lo tanto se sustenten más fácilmente en el aire por ser más leves. Lechuga afirma que el aire, o el agua, resiste a cualquier movimiento; pero la gravedad sólo es una resistencia para el movimiento violento.

Firrufino es consciente de que todas sus explicaciones y justificaciones no sirven para dar resultados cuantitativos, ni para fijar con precisión los alcances. Coincide en eso con Lechuga, que no cree posible acertar un tiro de lejos, pero sí el repetir un tiro ajustado «aunque difícilmente y con instrumentos.» (Lechuga, 1990: 295).

A parte de las cuestiones de cinemática defienden otras conclusiones de la física de Aristóteles como la tendencia de los leves a subir o la imposibilidad de que haya vacío.

3. Los autores posteriores a Galileo

El estudio de los autores de la segunda mitad del siglo XVII se van a dividir en partidarios de Galileo, partidarios de la Física de Aristóteles y tratadistas de artillería que no explicaban el movimiento de los proyectiles.

Escritores que siguen a Galileo son el mallorquín V. Mut y el valenciano J. Chafrión, que estuvieron relacionados con los círculos «novatores» y con los jesuitas.

Vicente Mut (1614-1687)

Las afirmaciones sobre movimiento de proyectiles que se han estudiado están en su *Tratado de Arquitectura Militar* (1664). Navarro Brotons (1979: 44-46) ha hecho ya un análisis de este libro, que se sigue en varios puntos. La primera referencia a Galileo en un escrito sobre movimiento de proyectiles en castellano, se encuentra en este libro de V. Mut, según Navarro Brotons y López Piñero (1983: 774).

Mut sigue utilizando los términos movimiento violento y natural, a los que les da un sentido más conforme con las ideas de Galileo, aunque no parece que esté totalmente despedido de las teorías anteriores (Mut, 1664: 81). Claramente no sigue a la escuela de cuando ésta defiende que los tiros violentos son más potentes cuanto más opuestos a los naturales:

«8. Y para condenar los tiros de arriba à baxo, no es menester valernos de la Opinion comun de que los tiros inclinados al horizonte son mas flacos; como quieren persuadir los Artilleros con Christobal Lechuga, Pedro Sardi y Iulio Cesar Firrufino, con motivo que el movimiento violento solo es mas fuerte, quanto mas se aparta del natural; porque eso lo tengo por error grande». (Mut, 1664: 81)

Defiende que los cuerpos al caer adquieren velocidad en razón al cuadrado del tiempo (Mut, 1664: 83) La trayectoria de la bala que cae con una velocidad inicial es parabólica y su razonamiento para demostrarlo es el de los *Discorsi* de Galileo (Navarro Brotons, 1979: 46). Critica un poco más tarde la trayectoria circular propuesta por Tartaglia y que seguía Firrufino.

Tiene idea de lo que significa la inercia en el movimiento (Mut, 1664: 40) aunque, como señala Navarro Brotons (1979: 45), su idea es confusa y la mezcla con los impulsos.

Se confunde al atribuir al aire que entra al cañón el retroceso de la pieza «La causa de la Retirada de la Pieça, solo es, que al salir de su boca la bala, el ayre que ha de entrar a socorrer el vacua del ayre de adentro, que consumia el fuego, causa concussion en la explosion» (Mut, 1664: 41).

Es consciente que las tablas de alcances que da Galileo no son precisas, por eso al tratar del alcance del tiro del mosquete dice: «la bala va por línea parabólica, pero como la altura de la parábola suele ser diferente en cada genero de piezas, por eso no son muy precisas las tablas de Galileo en sus Mech.» (Mut, 1664: 22). Es decir, sólo tiene en cuenta la falta de precisión en la velocidad inicial, que es la que fija la altura de la parábola y no tiene en cuenta el efecto de la resistencia del aire.

Mut era claramente partidario de las teorías de Galileo, a quien cita continuamente y no duda en criticar a los autores más renombrados de la teoría de los «ímpetu», pero no se despega completamente de las ideas antiguas. A deferencia de Chafrión, intenta encontrar explicaciones físicas al movimiento de graves y no se contenta con los aspectos matemáticos.

José Chafrión (1653-1698)

Chafrión trata de balística en dos escritos diferentes: en el prólogo que escribió a la *Arquitectura Civil Recta y Oblicua* de Caramuel en 1678, de título «Discurso Matemático» y en el libro *Escuela de Palas* publicado en 1693 que suele atribuirsele. En ninguno de los dos libros se extiende sobre el movimiento de los proyectiles. En el «Discurso Matemático» lo trata en una nota que va de la página 21 a la 24 y en la *Escuela de Palas* dentro del «CAPITULO XIV De los Trabucos y Morteros.» del Tratado de Arte Militar.

En el «Discurso Matemático» comenta en una nota el libro de Juan Caramuel *Sublimium Ingeniorum Crux*. Este libro compara las relaciones entre el desplazamiento y el tiempo de caída de un cuerpo, que proponían diversos autores estimados en Lovaina en 1640. Aunque Chafrión resume varias teorías, la discusión la centra entre las de Caramuel y Galileo, comparando sus previsiones con los resultados experimentales que obtuvo el propio Caramuel y los de Milliet Dechales. Caramuel proponía que los incrementos de velocidad de un cuerpo que cae debían ir como la sucesión de los números naturales. Según Chafrión esta hipótesis la había deducido Caramuel de sus experimentos³.

Chafrión dice sobre la teoría de Galileo «La segunda que tenia applauso, era la de Galileo [...], segun la qual con el tiempo crecia la velocidad del movimiento segun los numeros impares [...] Esta opinion por parecer muy natural era applaudida y defendida por mu-

³ Sobre las experiencias de Caramuel ver Monchamp (1892) *Galilée et la Belgique*, 156-160.

chos» (Chafrión, 1678: 21). Mersenne coincidía con Galileo en la caída de cuerpos en el aire y «Diferenciabase en que afirmaba que roto totalmente el ayre seria igual el movimiento en cada minuto de tiempo [...] porque faltando el Ayre no hauria Cuerpo que hiziesse resistencia y assi no hauria causa que alterasse su velocidad» (Chafrión, 1678: 21). La alternativa de Mersenne la descarta enseguida porque Chafrión no creía posible obtener el vacío: «no se puede admitir por fundarse en sospechas sin tener experiencia ninguna en que se apoye. Y parece que estas mismas sospechas tienen mucho de temeridad» (Chafrión, 1678: 23).

Los resultados de la experiencia del P. Dechales sobre la caída de graves no coincidían con los de Caramuel. Chafrión compara sus resultados y los de Caramuel con lo que precedían las teorías y concluye:

«Consta de lo dicho, que la sentencia de Galileo Si se discurre *à ratione*, infiere muchas consecuencias que han dado gusto a los Mathematicos y seran muy utiles en la Estatica y Architectura. Pero como la razon humana puede y suele errar, quando mas delicadamente discurre han de ser luzes en la controversia que se trata las Experiencias que con diligencia se hizieren. Pero [...] estas a la doctrina de Galileo la condenan « (Chafrión, 1678: 24).

En su segundo escrito de 1693 ha cambiado su postura. No trata de comprobar la validez de las teorías de Galileo comparándolas con la experiencia, sino que acepta su doctrina y la aplica para obtener alcances y ángulos de elevación. Así afirma:

«Todo quanto an escrito de los tiros de Artilleria y Morteros, [...] Collado, Ufano, Lechuga, Rivaut, Elrich, Siemnovivski, digo que à sido bien pensado, pero mal executado; pues todas sus reglas y tiros an sido inciertos y falaces, asta que Galileo y Torricelli con su grande ciencia y diligentes observaciones y experiencias an conocido y demostrado, que los tiros de volada de la Artilleria y Morteros en todas las observaciones crecen y se disminuyen, como los senos del doble de sus Angulos.»⁴

No se han encontrado las razones del cambio de postura de Chafrión.

4. El pensamiento tradicional: Andrés Dávila y Heredia

El capitán Dávila y Heredia es conocido por sus polémicas. José María López Piñero en *Ciencia y técnica en la sociedad española de los siglos XVI y XVII* lo califica de «tradicionalista intransigente» (López Piñero 1979: 395, 452/3).

A finales del siglo XVII Dávila y Heredia seguía defendiendo la división de los movimientos en violentos y naturales, por ejemplo escribía: «los movimientos violentos tienen su fuerza en el principio de adonde parten, del qual quanto mas se alexan van perdiendo poco à poco hasta que se paran; y passando mas adelante caminan con movimiento natural» (Dá-

⁴ Chafrión (1693, 204). Este pasaje está comentado por Navarro Brotons en López Piñero et al. (1983), tomo I, 212.

vila, s.a., f.4.r./v.). Como para Firrufino o Lechuga, el movimiento natural es más fuerte al final que al comienzo y el violento al comienzo que al final.

Defiende, como algunos autores del siglo XVI o de la primera mitad del XVII, que la causa del movimiento de la bala es que al quemarse la pólvora el aire encendido tiende a ir hacia arriba. Por eso los tiros más potentes se consiguen tirando hacia arriba y los menos hacia abajo.

Dávila sigue las teorías de Aristóteles, a quien cita a menudo. En física está en contra de la posibilidad de que exista el vacío y considera posible el movimiento perpetuo.

5. La mayoría que elude el tema

Los escritores que se han visto son una minoría entre los tratadistas militares que escribieron en castellano en esa época. Durante la segunda mitad del siglo XVII se publicaron bastantes tratados sobre temas militares, pero pocos estudiaron la artillería y muy pocos trataron exclusivamente de ella.

Tratados generales sobre técnicas militares que incluyan una parte dedicada a la artillería, además de los mencionados, se han localizado los cuatro siguientes: de Alonso de Zepeda *Epítome de la Fortificación Moderna* (1669), del Marqués de Buscayolo los *Opúsculos* (1669) de Pedro Antonio Folch y Cardona la *Geometría Militar* (1671) y de Francisco Larrando de Mauleón *Estoque de la Guerra y Arte Militar* (1699). Los tres primeros no discuten del movimiento de los proyectiles.

Sebastián Fernández de Medrano escribió tres libros de artillería: *El práctico artillero* (1680), *El perfecto bombardero* (1691) y *El Perfecto Artificial* (1699), que es el que se ha estudiado. Sebastián Fernández de Gamboa publicó unas *Memorias militares sobre el manejo de la artillería* (1671), que no se han podido localizar. Vigón en la *Historia de la Artillería Española* no las considera importantes (Vigón, 1947: I, 297).

Por otra parte están los escritos de los militares que innovaron la artillería española en la segunda mitad del siglo XVII. De Juan de Bayarte se han estudiado las cartas e informes escritos de 1676 a 1680. Parece que se han perdido los manuscritos de Antonio González, que también diseñó nuevas piezas y polemizó con Bayarte.

De estos autores, el que escribió más de artillería fue Fernández de Medrano. En su tratado *El Perfecto Artificial* (1699) dedica la primera mitad del libro a la fabricación de la pólvora y la preparación de bombas y minas. La segunda parte la dedica a los tipos de piezas, las cucharas, los alcances y la organización de un tren de artillería en campaña. En esta parte tiene un capítulo que trata de «Como ay muchas razones porque los tiros pueden ser inciertos» y en el capítulo siguiente escribe:

«Es difícil de averiguar lo que tira una pieza por sus punterías porque como es cosa que los fundamentos no constan de demostracion, sino de varia experiencia hecha por curiosos Artilleros (...que...) han hallado unos una distancia y otros otra» (Fernández de Medrano, 1699: 162).

Explica que el metal de la pieza o el tipo de pólvora o la fuerza con que se aprieta ésta pueden ser la causa de los alcances diferentes y concluye: «no se puede dar regla fixa sobre este particular y el que fuere curioso y quisiere saber de esto con mas certidumbre, puede

leer a Ufano, Lechuga, Collado, ó al perfecto Artillero; llamado el doctor Julio Cesar Firrufino» (Fernández de Medrano, 1699: 162). Los autores a los que remite defendían la teoría del «ímpetu», pero él no la emplea para explicar el movimiento de las balas.

Sobre el tiro con un ángulo de elevación cualquiera no quiere dar reglas fijas. Considera probado que el máximo alcance es con 45° y que ángulos complementarios tienen el mismo alcance.

Larrando de Mauleón, en su libro *Estoque de Guerra* trata de la artillería en el Tratado V. De nuevo la mayor parte de esas páginas están dedicadas a la fabricación de pólvoras y a la preparación de bombas y granadas. Evita las explicaciones de balística exterior y lo único que afirma es:

«se hallara [...] que con una misma cantidad de polvora, se harân muy diferentes los tiros: despues desto se hallarâ que tirando el mortero por los 45 grados de elevacion, se hazè mayores tiros q por qualquiera otra elevacion que se tirare y [...] aumentando o quitando unos mesmos grados a los 45 la bomba siempre vendrà â caer à un mesmo puesto» (Larrando de Mauleón, 1699: 33/34).

Es decir, de nuevo da solamente resultados que son válidos tanto para las teorías de Galileo como para las de Ufano. No utiliza en su libro los movimientos natural y violento para explicar los alcances de las balas, ni menciona a Collado, Lechuga Ufano o Firrufino.

El tercer escritor de este periodo que trata de balística es Juan de Bayarte Calasanz y Avalos. No escribió textos para la enseñanza como los anteriores, sino escritos polémicos o peticiones para conseguir apoyo para sus proyectos de nuevas armas.

Bayarte considera la trayectoria de una bala dividida en tres partes, como proponía Tartaglia, pero con la parte curva parábola. Cita en su apoyo a Alaba, Collado, Ufano y Firrufino, que seguían a Tartaglia, pero también varias veces a Mut que era partidario de Galileo. En general está más influido en sus razonamiento por las antiguas teorías de los «ímpetu» que por Galileo, pero no está cerrado a las nuevas ideas. No quiere entrar en polémicas abstractas sobre teorías, pues las considera perjudiciales: «yo quisiera que los meramente artilleros emplearan mas tiempo para obrar bien lo que se executa con la artilleria, que no en inquirir y expecular en las causas porque se obra» (Bayarte, «Discurso para la practica de la nueva artillería»: s.p.).

Estos tratadistas se extienden poco en cuestiones de alcances y no tratan de trayectorias, pero explican con detenimiento otras cuestiones, como las clases de cañones o de pólvoras. Sobre alcances dicen que el máximo es con 45° de elevación y que los alcances con elevaciones complementarias son iguales, lo que era aceptable para los seguidores de Galileo y de Ufano. Todo esto lleva a pensar que preferían no desarrollar un tema en el que había controversia. Aunque algunos preferían las explicaciones de Firrufino, Ufano o Lechuga, a las de Mut, no las empleaban en sus exposiciones.

6. El comienzo del siglo XVIII

A comienzos del siglo XVIII el jesuita José Cassani editó el libro *Escuela Militar* (1705). Es un tratado bastante completo del que el libro IV tiene siete capítulos dedicados a la artillería.

Sobre los proyectiles afirma que con 45° de inclinación se consigue el mayor alcance y que su movimiento es mixto del impulso de la pólvora y del movimiento al centro. Sobre la forma de la trayectoria considera que: «pretendiendo generalmente los Autores, que esta línea es parábola. Hallo bastante dificultad en la demostracion» (Cassani, 1705: 214) En su opinión, para que fuera una parábola el impulso violento de la pólvora tendría que ser igual al natural de la bajada y eso no le parece demostrable. Sin embargo, Cassani en otras cuestiones sigue las teorías de la *Escuela de Palas*. (Navarro Brotons en López Piñero et al., 1983: I, 194).

Los comentarios de Cassani, muestran lo que había sido mejor aceptado de las teorías de Galileo: la trayectoria parabólica, el alcance máximo con la elevación de 45° y la simetría de la trayectoria. También muestra lo más difícil de abandonar de las teorías anteriores: las explicaciones utilizando los movimientos naturales y violentos y los impulsos.

Una razón, que explica la dificultad que tienen los militares para aceptar las teorías galileanas, es que no existió en castellano ningún tratado completo y apreciado que defendiera las teorías de Galileo hasta la publicación del *Compendio Mathematico* (1705– 1715) de Tosca (Navarro Brotons y López Piñero, 1983: 776). Esta obra no está totalmente despejada de las ideas de la mecánica de los «ímpetu», pero ya desarrolla una teoría fundamentalmente galileana⁵. No debe extrañar el retraimiento y la postura vacilante que frente a las ideas de Galileo muestran la mayoría de los militares del reinado de Carlos II, pues les debía de resultar difícil pronunciarse en un tema en el que no había una postura clara.

Bibliografía

- BAYARTE J. (de 1676 a 1680), «Relacion de lo que a obrado el Teniente de Maestre de Campo General D. Ivan Bayarte [...] en la introduccion y uso de la nueva artilleria» y otros escritos reunidos en la Biblioteca Nacional de Madrid con la signatura R 6108.
- BUSCAYOLO Marqués de, (1669), *Opusculos*, Valencia.
- CASSANI J. (1705), *Escuela Militar*, Madrid.
- CHAFRIÓN J. (1678), «Discurso Mathematico». En: Caramuel: *Architectura Civil recta y oblicua*. Vegeven.
- CHAFRIÓN J. (1692), *Escuela de Palas*, Milán [anónimo atribuido a él].
- DÁVILA Y HEREDIA A. (1679), *Demostrar la Inteligencia de Archimedes*, Madrid.
- DÁVILA Y HEREDIA A. (s.a. 1672 ?), *Plazas Fortificadas en el Ducado q era de Lorena*.
- DÁVILA Y HEREDIA A. (s.a.), *Responde desde la otra vida s.l., s.e.*[utiliza Poza de pseudónimo].
- DUGAS R. (1950), *Histoire de la Mécanique*, Paris.
- FERNÁNDEZ DE MEDRANO S. (1699), *El Perfecto Artificial, Bombardero y Artillero*, Brusselas.
- FIRRUFINO J. C. (1642), *El Perfecto Artillero Theorica y Practica*, Madrid.
- FOLCH Y CARDONA P.A. (1671), *Geometria Militar*, Nápoles.
- HALL A.R. (1952), *Ballistics in the seventeenth century*, Cambridge University Press.
- LARRANDO DE MAULEON F. (1699), *Estoque de la Guerra y Arte Militar*, Barcelona.

⁵ Ver el análisis en Navarro Brotons (1985), 175-187.

LECHUGA C. (1611), *Tratado de la Artillería y de Fortificación*, [Reedición Ministerio de Defensa 1990].

LÓPEZ PIÑERO J.M. (1979), *Ciencia y Técnica en la sociedad española de los siglos XVI y XVII*, Barcelona.

LÓPEZ PIÑERO J. M. *et al.* (1983), *Diccionario Histórico de la ciencia moderna en España*, Barcelona.

MUT V. (1664), *Tratado de Arquitectura Militar*, Mallorca.

NAVARRO BROTONS V.; LÓPEZ PIÑERO J. M. (1983), «Galileo and Spain». En: *Firenze e Toscana dei Medici nell'Europa dell'500*, Vol.II. 763-776.

NAVARRO BROTONS V. (1979), «Física y Astronomía moderna en la obra de Vicente Mut», *LLull* 2, 43-62.

NAVARRO BROTONS V. (1985), *Tradició i Canvi Científic al País Valencià Modern*, València.

VIGÓN J. (1947), *Historia de la Artillería Española*, Madrid, C.S.I.C.

ZEPEDA Y ADRADA A. de (1669), *Epítome de la fortificación moderna*, Bruselas.

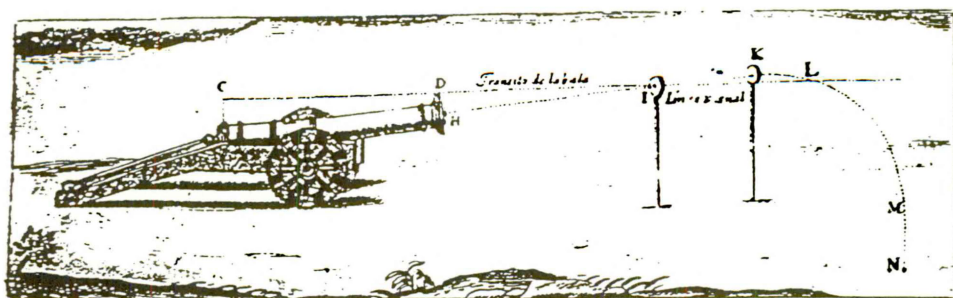
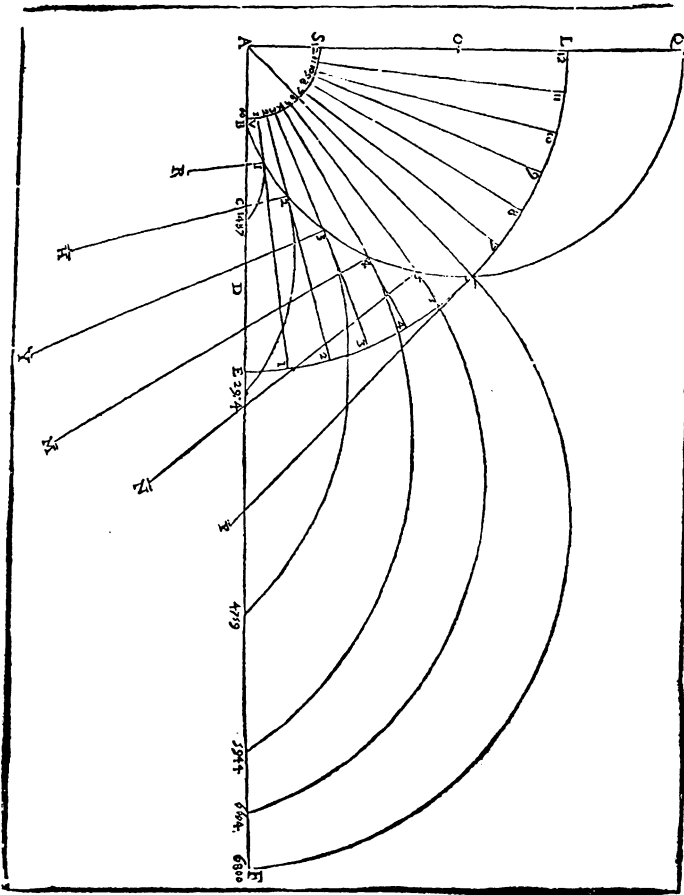


Figura 1. Trayectoria de un proyectil según la teoría de los ímpetus.



7759.

Figura 2. Trayectoria de las balas

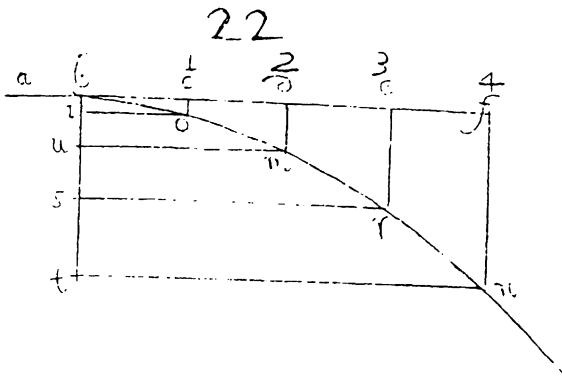


Figura 3. Trayectoria de una bala según Hut.

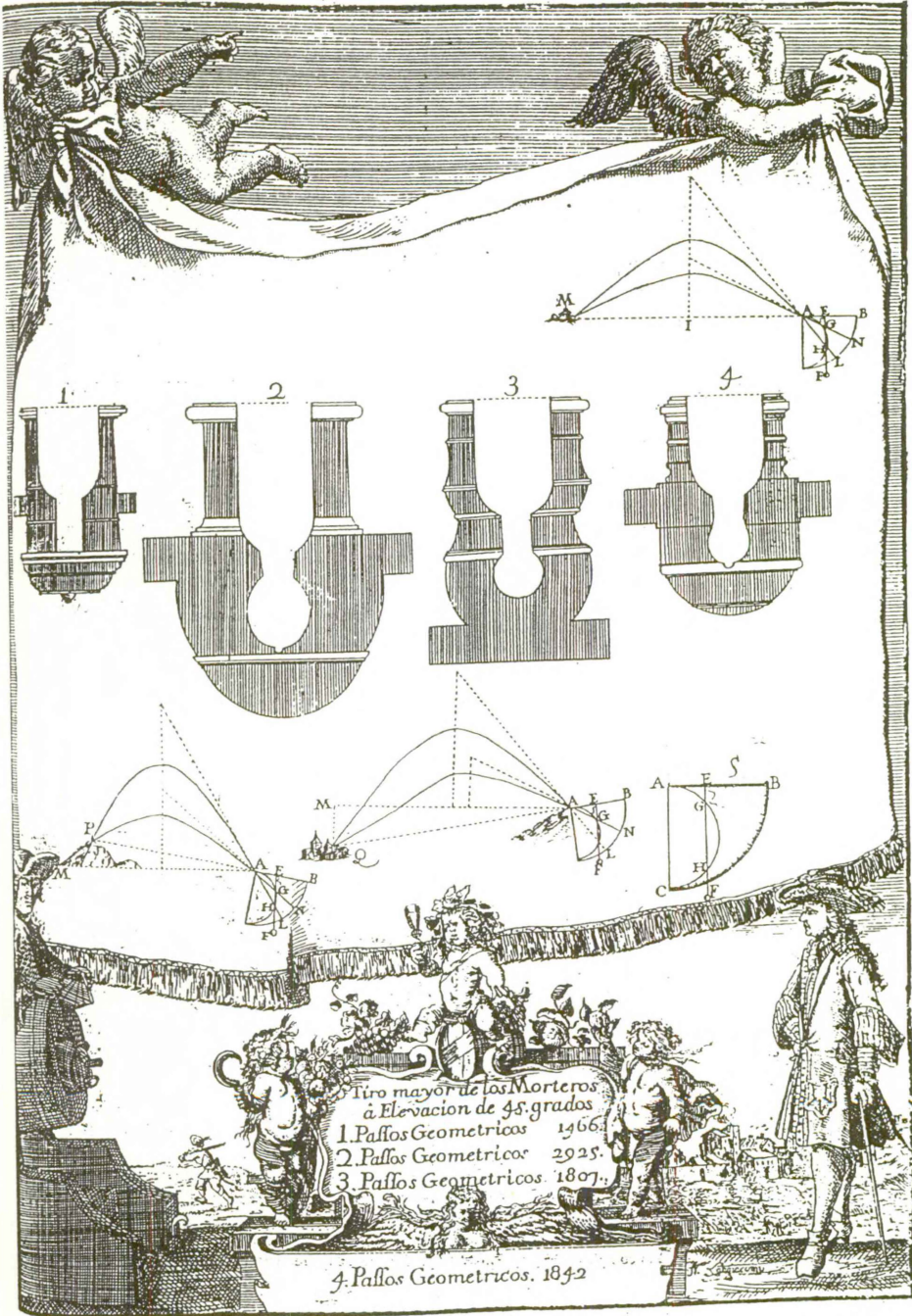


Figura 4. Lámina sobre el tiro con mortero de la Escuela de Palas



Figura 5. Lámina del proyecto inicial de Fernando de Medano

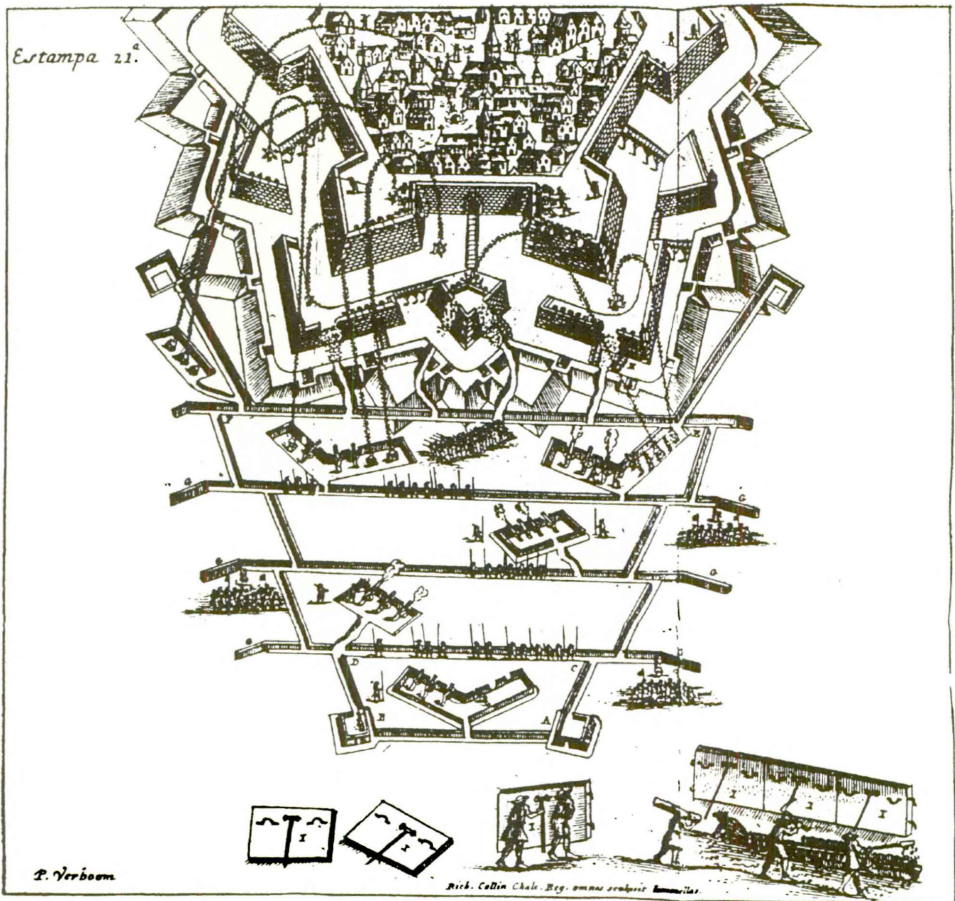


Figura 6. Lámina del ingeniero Fernando de Medano.