

na, igual en la capacidad al firmamento; porque, como demuestra el Padre Clavio en la Esfera, à lo ultimo del cap. 1. el numero que consta de 50. zeros, y la unidad, es mayor que el numero de los granos de arena que pueden caber dentro el ambito del firmamento; y las 50. ruedas, cuya velocidad procediese en proporcion de cupla, darian à la potencia tal velocidad, que con la de la arena que llenaria el ambito del firmamento, seria como dicho numero de la unidad, y 50. zeros con un grano de arena, ò con una hormiga: luego esta podria mover todo el peso sobredicho.

PROP. XII. Theorema.

Las sobredichas maquinas compuestas de ruedas, se reducen à Palancas perpetuas. (fig. 38.)

LA razon es, porque si bien se considera, los dientes que coronan las ruedas de las sobredichas maquinas, son otras tantas palancas, que se van succediendo unas à otras, de tal fuerte, que en passando una, se substituye otra mientras dura el movimiento circular de las ruedas. En esta suposicion se demuestra tambien claramente el aumento de las fuerzas que adquiere la potencia con muchas palancas. Sean pues tres palancas MN, OP, QR, dispuestas como se expresa en la figura; y sea MS à SN, como 1. à 10. y asimismo OT à TP, y QV à VR. Digo, que la potencia aplicada en R, respecto del peso M, vale por mil.

Demonstr. El punto R se mueve diez veces mas que Q, ò P; y P se mueve diez veces mas que O, ò N: luego R se mueve 100. veces mas que N; este punto N se mueve diez veces mas que el peso M: luego la potencia en R se mueve mil veces mas que el peso M: luego (8. 2. de este trat.) la potencia R vale por mil para levantar el peso M. Esto no seria asi, si en lugar de las tres palancas se usasse de la AB, igual en longitud à ellas; porque la distancia LB es solamente treinta veces mayor que AL: conque la potencia en B solo vale por 30. para levantar el peso A, que es notabilissima diferencia.

De lo dicho hasta aqui se colige bastantemente el fundamento en que consiste las fuerzas de las maquinas compuestas de ruedas, que

que ordinariamente sirven en los molinos de agua, y viento, y otros innumerables, de que usa la Hidraulica, y se explicarán en su propio lugar.



LIBRO IV.

DE LA TERCERA MAQUINA
fundamental, llamada Carrillo,
ò Garrucha.

LA tercera maquina fundamental, que el Latino llama del Griego Trochlea, y nuestro vulgar Garrucha, Carrillo, ò Polea, es maquina tan conocida como usada por los Artifices para mover, y levantar piedras, y otras cosas de gran peso: sus fuerzas son excelentes, y facilita mucho el trabajo, singularmente quando à ella se añade el argue, ò torno, segun el estilo vulgar, y corriente.

DEFINICIONES.

1 **G**arrucha, ò polea, es una maquina que consta de una, ò muchas rodajas, ò ruedas pequeñas, que se mueven circularmente sobre sus exes, y por quienes passa la cuerda, que trae, ò levanta al peso.

2 La garrucha, es de diferentes maneras, segun el numero de las rodajas de que se compone. Si consta de una sola, se llama simple, ò monopastos, como en la fig. 39. y 41. Si dos, se llama dispastos. (fig. 43.) Si tres, trispastos. (fig. 40. y 44.) Y generalmente, si constan de muchos carrillos, ò rodajas, se llaman polispastos, ò poleas compuestas.

3 Qualesquiera de estas especies de garruchas pueden ser, ò

movibles, ò inmobiles. Movibles son aquellas, cuyas ruedas no solo tienen el movimiento al rededor de su exe, si que tambien su exe, y toda la maquina tiene movimiento, como en la fig. 41. Otras son inmobiles, y son aquellas, cuyos exes están fixos en un mismo lugar, y no tienen mas movimiento, que el de las ruedas sobre su exe, como en la fig. 39.

PROP. I. Theorema.

La Garrucha sencilla, ò Monopastos, si es inmobile, ni añade, ni quita fuerzas à la potencia. (fig. 39.)

SEa la garrucha simple AB inmobile, esto es, pendiente de un clavo fixo por el garfio H. Digo, que no aumenta; ni disminuye las fuerzas de la potencia, que aplicada en E, y tirando àzia baxo, hace subir el peso D.

Demonstr. Quando en una maquina los movimientos del peso, y de la potencia son iguales, no se aumentan, ni disminuyen las fuerzas de la potencia; pero en la garrucha simple, è inmobile son iguales los movimientos del peso, y potencia: luego no se aumentan, ni disminuyen las fuerzas de dicha potencia. Que sean iguales dichos movimientos, es claro; porque si la potencia baxa de E, tirando la cuerda hasta G, el peso D, obedeciendo à su impulso, sube al punto I; y como en todo caso sea una misma la longitud de la cuerda, será DAE igual à IAG; y quitando el segmento comun IAE, será DI igual à EG: luego el movimiento del peso, y potencia son iguales; y por consiguiente, en virtud de esta maquina, ni se aumentan, ni disminuyen las fuerzas à la potencia.

Aprovecha pues esta maquina solamente para facilitar el movimiento, tanto del peso, como de la potencia, quitando aquella dificultad, que ciertamente causaria el rozarse la cuerda al passar por sobre el exe C, ò por otro qualquiera cuerpo fixo, è inmovil, sino estuviera la rueda que acompaña con su movimiento circular el de la cuerda. Logra tambien el hombre que sube un peso con esta maquina un grande alivio, que no consiguiera sin ella,
pues

pues es cierto, que sin la garrucha para levantar el peso, havia necessariamente de agoviarse, è inclinarse, experimentando, y sintiendo toda la gravedad del peso los musculos, y nervios, lo que no sucede aplicando los brazos à la cuerda, que tirando consigue con mayor suavidad el mismo efecto.

COROLARIOS.

1 LA garrucha simple, es lo mismo que una palanca perpendicular del primer genero de brazos iguales. La razon es, porque aunque baxando la potencia, y subiendo el peso, siga tambien, y rueda el carrillo; pero siempre las distancias CA, CB son iguales: conque estando siempre el peso pendiente de A, y la potencia de B, y el hipomochlio en C, entre la potencia, y peso, será continuamente la garrucha una palanca del primer genero, en que siempre las distancias del peso, y potencia son iguales.

2 Coligese de lo dicho, que ser mayor, ò menor el carrillo, no da mayores fuerzas à la potencia, porque siempre es igual la distancia de la potencia à la del peso, distando entrambos del exe, ò centro C, la distancia precisa de los semidiametros CA, CB, que siempre son iguales, sea el circulo mayor, ò menor; y por consiguiente, tanto en el carrillo mayor como en el menor, es igual el movimiento en el peso, y en la potencia: luego no da mayores fuerzas el carrillo.

PROP. II. Theorema.

Con la garrucha simple inmovil puede un hombre levantar un peso mayor que el suyo.

DUdase si un hombre, que por lo regular suele pesar 150. libras, podrá levantar con la garrucha simple inmovil un peso mayor, como de 200. libras. A esta duda respondo con distincion: ò el hombre se aplica à la maquina, suspendiendo solamente su cuerpo de la cuerda con las manos, ò hace fuerza estrivando con los pies en tierra, ò en una pared, ò otra cosa firme. Si aplica sus fuerzas del primer modo, solo podrá levantar un peso igual al suyo: porque siendo la garrucha lo mismo que una palanca del primer genero, de iguales brazos, el peso natural del hombre-

bre solo se podrá equilibrar con otro igual à sí; pero si para tirar la cuerda, y subir el peso, estriva con los pies en otro cuerpo firme, además del impulso del propio peso, añade otro, originado de la resistencia que hacen los musculos, y nervios, con que podía levantar mayor peso que el igual al de su propio cuerpo.

PROP. III. Theorema.

Muchas garruchas inmóviles, aunque sean innumerables, no aumentan, ni disminuyen las fuerzas de la potencia.

(fig. 40.)

Sean las garruchas E, F, G inmóviles, esto es, que sus exes, y centros no tengan movimiento alguno. Digo, que ni aumentan, ni disminuyen las fuerzas de la potencia. Supongamos, que la potencia está en A, y el peso en C; y que la potencia tirando la cuerda baxa à B, y el peso suba à D.

Demonstr. Quando los movimientos del peso, y potencia son iguales, ni se aumentan, ni se disminuyen las fuerzas de la potencia: esto es lo que sucede en este caso, porque como la cuerda AEEFGC, sea la misma por suposición, que BEFGD, quitando el segmento común AEEFGD, quedarán DC, AB iguales; pero AB es el movimiento de la potencia, y DC es el movimiento del peso: luego el movimiento del peso, y potencia son iguales; y por consiguiente, ni se aumentan, ni disminuyen las fuerzas de la potencia.

PROP. IV. Theorema.

La garrucha móvil, que lleva consigo el peso, duplica las fuerzas de la potencia. (fig. 41.)

Sea la garrucha A, cuya caja sea móvil, de cuyo garfio esté pendiente el peso B; y estando el cabo de la cuerda fijo en C, la potencia esté aplicada en D, que tirando la cuerda haga subir la garrucha, y peso pendiente, por exemplo, hasta E. Digo, que la potencia D tiene duplicadas sus fuerzas.

De-

Demonstr. Para que la garrucha suba al punto E, es menester que la potencia se mueva por tanto espacio, quanta es la longitud de las cuerdas CF, GD; esto es, ha de correr toda la cuerda, menos el segmento, que quedará recto en llegando la garrucha à E, el qual es igual al segmento FG: luego corre la potencia tanto, quanto son CF, DG; pero estos dos segmentos juntos son tanto como dos veces el espacio AE, à quien es igual el movimiento del peso: luego el movimiento, ò velocidad de la potencia es doblado de la velocidad del peso; y por consiguiente, (12. 1. de este trat.) podrá doblado la potencia contra el peso: de fuerte, que las fuerzas precisamente suficientes para levantar 100. libras de peso, podrán con esta maquina levantar peso de 200. libras.

Si en el cabo C de la cuerda se añadiesse otra potencia, que tuviesse igual movimiento que la D, solo experimentarìa el gravamen de la mitad del peso; como si dos llevasen en una palanca un peso con igual distancia de entrambos.

PROP. V. Theorema.

Si la potencia se aplica à la garrucha simple móvil, se disminuyen sus fuerzas por mitad, respecto del peso pendiente de una extremidad de la cuerda. (fig. 41.)

SI la potencia se aplica en B, y el peso se pone en el cabo D de la cuerda, las fuerzas de la potencia se disminuirán por mitad; esto es, que si podía por sí sola levantar 100. libras, aplicada en la forma dicha, solo podrá levantar 50. La razon es, porque en esta aplicacion tiene el peso doblado movimiento que la potencia; por lo que dixe en la propos. anteced. tenerle doblado la potencia quando estava en D: luego pierde la potencia la mitad de sus fuerzas; ò puede la mitad menos de lo que podría sin la maquina, moviendose la potencia, y peso con igual movimiento.

PROP.

PROP. VI. Theorema.

En la garrucha llamada Dispastos, si la cuerda passa por el carrillo movable sin estar atada à su caixa, sino à otro punto in-mobil, la potencia solo adquiere dobladas fuerzas. (fig. 42.)

EL aumento de las fuerzas de la potencia es diferente, segun es diferente el modo de embolver, y acomodar la cuerda en las garruchas compuestas, ò *polipastos*; y sea el primero el siguiente.

El un cabo de la cuerda estè firme en el punto L, ò en B, ò otro qualquiera, y dando la buelta por el carrillo M movable, y por el carrillo I inmobile, apliquese la potencia al cabo H, y el peso al carrillo movable M. Digo, que las fuerzas de la potencia aplicada en H, en virtud de esta maquina se duplican para levantar, y subir el peso pendiente en M.

Demonstr. Tanto se mueve el punto H, como el punto N. (1.) Este punto N tiene doblada velocidad que el peso pendiente en M: (4.) luego el punto H se mueve doblado que el peso pendiente en M: luego la potencia aplicada en H tiene doblada velocidad que el peso: luego se duplican sus fuerzas, segun la *prop. 12. lib. 1.*

Lo mismo sucederá, si la extremidad H se supone fixa, y firme, y la potencia se aplica en L, y tira àzia arriba; esto es, que la potencia podrá doblado, pero será inutil el carrillo I. La razon es, porque en este caso la porcion de cuerda HIN es inmobile: luego es lo mismo que si la cuerda estuviere atada en el punto N, y la potencia tirara la cuerda desde L, y no huviere mas de una garrucha M simple, y movable, que lleva consigo el peso: luego (4.) se duplican en esta constitucion las fuerzas de la potencia.

COROLARIO.

Consta de lo dicho, que si la potencia estuviere en M, y el peso en H, estando fixo el cabo L, las fuerzas de la potencia se disminuirán en la mitad, por ser el movimiento del peso doblado del de la potencia.

PROP.

PROP. VII. Theorema.

Si en la polea Dispastos, se ata el cabo de la cuerda en la garrucha movable que lleva el peso, y se embuelve en su carrillo, se triplicarán las fuerzas de la potencia. (fig. 43.)

EN la polea, compuesta de dos carrillos B, I, atese el un cabo de la cuerda en la garrucha movable I, que lleva el peso; y embuelvase la cuerda en los dos carrillos B, I, y la potencia apliquese al cabo C. Digo, que tirando àzia arriba, tendrá tres veces mas fuerza para levantar el peso, en virtud de esta maquina, de la que tiene sin ella.

Demonstr. Supongamos, que la potencia C se mueva hasta tanto que suba la garrucha I à encontrar con la B. No hay duda, que en haviendo llegado à juntarse la garrucha I con la B, habrá pasado toda la cuerda por las garruchas, y se habrá salido fuera de ellas, menos las dos porciones FBE, GIH, que necessariamente han de quedar, por ser las que abrazan los dos carrillos: luego el movimiento de la potencia es igual, ò se mide por toda la cuerda, menos las dos porciones sobredichas: luego es igual à las tres partes IE, FG, HC; estas tres partes juntas son triplas de la porcion IE, que es el movimiento del peso: luego el movimiento de la potencia es triplo del movimiento del peso: luego se triplican las fuerzas de la potencia.

PROP. VIII. Theorema.

En la polea llamada Trispastos, que consta de dos carrillos inmobiles, y uno movable, se triplican las fuerzas de la potencia. (fig. 44.)

LA polea Trispastos, que se ve en la *fig. 44.* consta de tres carrillos: los dos superiores L, I, son inmobiles; y el otro M, que lleva consigo pendiente el peso, es movable: el un cabo de la cuerda está atado en M, y pasando dicha cuerda por el carrillo I, baxa; y pasando por el carrillo M, buelve à subir, y passa por el carrillo L. Digo, que la potencia

tencia, que desde el cabo P tira el peso, tiene en virtud de la maquina triplicadas sus fuerzas.

Demonstr. El punto, ò cabo P no se mueve mas que el punto O: de fuerte, que el carrillo L solo se pone para mayor conveniencia de la potencia, que desde P tira àzia baxo, y desde O àzia arriba: luego en quanto à lo demàs, lo mismo es que si estuviera en O; en este caso (por la antec.) solo triplica la potencia sus fuerzas: luego tambien quando se aplica en P.

PROP. IX. Theorema.

En la polea Trispastos, si las dos garruchas que van juntas, y llevan el peso son movibles, se quadruplican las fuerzas de la potencia. (fig. 45.)

Sea la polea trispastos, cuyas dos garruchas inferiores MN, que llevan el peso, sean movibles. Digo, que la potencia tiene quadruplicadas fuerzas, en virtud de esta disposicion.

Demonstr. Supongamos, que la potencia V se mueve tirando la cuerda hasta que las garruchas MN lleguen à juntarse con la superior L: en este caso solamente quedaran embueltos en los carrillos los pedazos de cuerda RST, ONH, PIQ; todo lo restante lo havrà traído la potencia, y ferà medida de su movimiento, que son los segmentos RO, LP, TQ, HV; estos quatro segmentos son quadruplos de solo el segmento LP, que mide el movimiento del peso: luego en esta disposicion de polea, el movimiento de la potencia es quadruplo del movimiento del peso: luego las fuerzas de la potencia se quadruplican; esto es, valen tanto, como quatro iguales à si, para levantar el peso.

Y porque la potencia, que tiraria desde V àzia arriba, se fatigaria mucho, se añade sobre la garrucha RT, otra por cuyo carrillo passa el cabo de la cuerda V, y queda pendiente à la otra parte, con que puede la potencia aplicada tirar con menos trabajo àzia baxo, para mover, y subir el peso: conque resulta la polea *Tetrapastos*, ò de quatro carrillos, en quien la potencia adquiere quadruplas fuer-

fuerzas, firviendo la garrucha superior añadida para mayor facilidad, y suavidad tan solamente.

PROP. X. Theorema.

Tantas veces se multiplican las fuerzas de la potencia en la polea, cuya garrucha inferior es movible, quantos son los tirantes de las cuerdas, si la potencia se mueve segun la garrucha movible.

Consta de las proposiciones antecedentes; porque en la disposicion de la fig. 41. hay dos tirantes de cuerda, y se duplican las fuerzas; (5.) y lo mismo es en la disposicion de la fig. 42. (6.) porque el tirante IH, jamás ha de entrar en esta cuenta, por añadirse solo para mayor conveniencia. En la disposicion de la fig. 43. hay tres tirantes, y se triplican las fuerzas; (7.) y lo mismo es en la fig. 44. porque el tirante HP, solo se añade para mayor facilidad. (8.) En la garrucha (fig. 45.) se quadruplican las fuerzas, y tiene quatro tirantes; (9.) y si acaso se añade otro carrillo superior, y otro tirante, es, como dixere, por conveniencia: luego tantas veces multiplican las fuerzas, quantas los tirantes de las cuerdas, menos el que dixere se añade para mayor alivio de la potencia.

PROP. XI. Problema.

Disponer las poleas de tal manera, que al passo que se aumenta el numero de los carrillos, se aumenten en proporcion dupla las fuerzas de la potencia. (fig. 46.)

Consta de lo dicho en las proposiciones antecedentes, que en las poleas dispuestas con el estilo ordinario crecen las fuerzas de la potencia en proporcion arithmetica. Buscase aora el modo de disponerlas, de fuerte, que si hay un solo carrillo, se dupliquen las fuerzas; si dos, se quadruplicquen; si tres, sean ocho veces mayores, &c. Confequirase esto en la forma siguiente.

Suspendase el peso que se ha de levantar, de la garrucha movible B; y el un cabo de la cuerda este bien fixo en

G, y el otro estè atado à la garrucha movable C, cuya cuerda estè fixa en F por un cabo, y el otro vaya atado à la garrucha movable D; y asimismo la cuerda EDH tenga el un cabo fixo en E, y la potencia apliquefe en H. Digo, que la potencia aplicada en H, siendo en sí igual al peso, tendrá ocho veces mas fuerzas que tenia por sí sola.

Demonstr. La potencia, que aplicada en H tira la cuerda àzia arriba, se mueve con doblada velocidad que la polea D: (4.) la polea D, lleva doblada velocidad que C; y ésta lleva tambien doblada velocidad, que la polea B con el peso: luego la potencia H, lleva ocho veces mayor velocidad que el peso: luego alcanza ocho veces mas fuerzas para mover el peso B, que las que por sí sola tiene: luego una potencia, ó peso suboçtuplo de B, puesto en H, tendrá equilibrio con B. De fuerte, que si el peso B es de 8. arrobas, bastará el peso de una arroba en H para el equilibrio.

PROP. XII. Theorema.

Qualquiera potencia puede mover qualquier peso con la polea, ò garrucha.

LA razon es, porque así como el peso se puede aumentar, y la potencia disminuir hasta el infinito; así tambien añadiendo mas, y mas carrillos à la polea, se puede disminuir el movimiento del peso, y aumentar el de la potencia hasta el infinito; y como al passo que se disminuye el movimiento del peso, y se aumenta el de la potencia, crezcan en ésta las fuerzas, es cierto podrán siempre correr tanto, que superen la resistencia de qualquier peso.



LIBRO V.

DE LA CUARTA MAQUINA
fundamental, llamada
Cuña.

Aunque la cuña, por la sencillez de su composicion, y poco artificio pareció à algunos ponerfe con menos propiedad en el numero de las maquinas; pero comunmente los Autores con Pappo Alexandrino la cuentan entre las maquinas fundamentales, por las grandes fuerzas que tiene para abrir, dividir, y romper los cuerpos firmes, lo que otras maquinas no podrían facilmente conseguir: su naturaleza, y propiedades se comprehenden en las pocas proposiciones que se figuen.

PROP. I. Theorema.

Explicase la forma, y uso de la cuña. (fig. 47.)

LA forma, ò figura de la cuña es de un prisma triangular, y dos de sus superficies opuestas vienen à terminar en una linea recta, comun à entrambas, como se ve en V: hacefe de materia firme, como de madera, ò hierro: su uso es bien frequente: sirve para hender, dividir, y partir los cuerpos fuertes, como leños, piedras, &c. porque abriendo primero en dichos cuerpos un corte, ò pequeña hendedura, se ajusta en ella la cuspide de la cuña, que à fuerza de golpes se introduce, y abre las piedras, ò leños con gran facilidad, y poco trabajo.