

ES MÁS FÁCIL ARRASTRAR QUE ELEVAR. LAS PIRÁMIDES.

En un escrito anterior sobre las mareas veíamos que no era la atracción vertical de la Luna la que elevaba el nivel de las aguas de los mares, sino la atracción horizontal que hacía deslizar esas aguas.

Veíamos que la atracción de la Luna sobre el agua de los mares era miles de veces menor que la atracción de la Tierra (el peso) y por lo tanto este efecto era despreciable. En la figura 1 viene representado el peso P y la atracción ejercida por la Luna F , miles de veces más pequeña que P , como hemos dicho.

La Luna es algo más pequeña que la Tierra y está mucho más lejos de la superficie de los mares que la Tierra, por eso su atracción sobre el agua es mucho menor que el peso de esta.

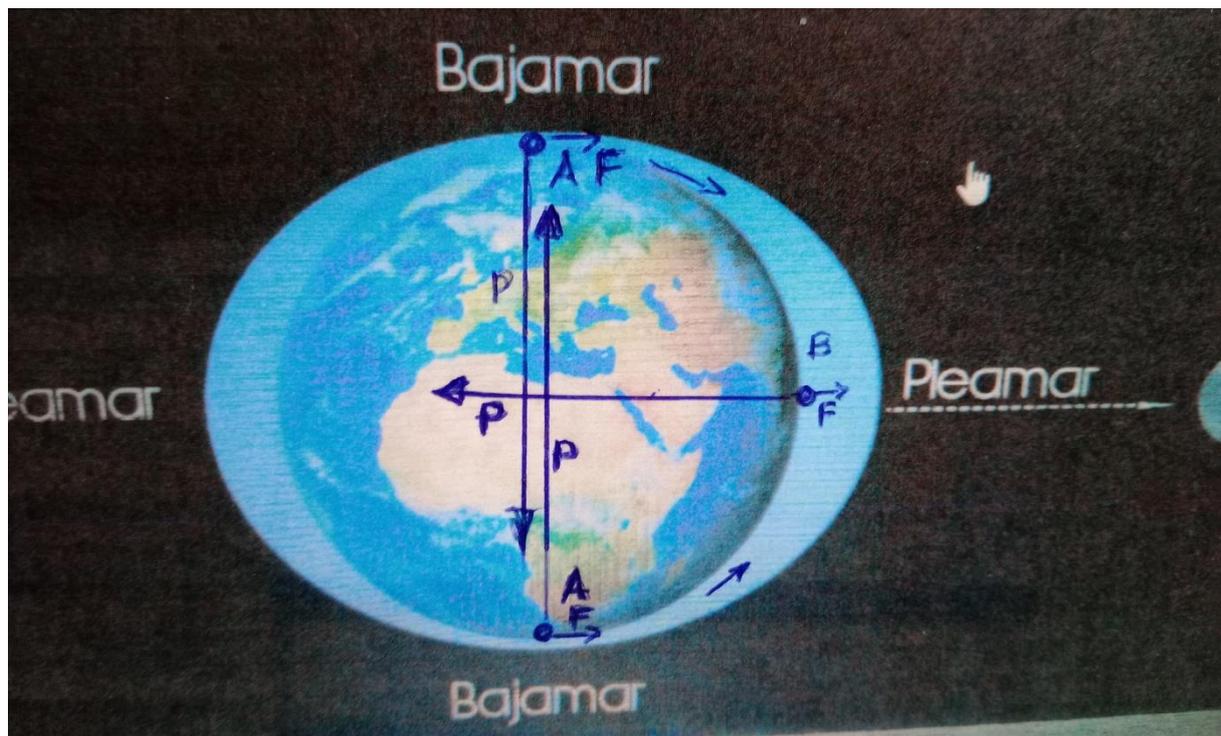


Figura 1.

En el punto B, frente a la Luna la fuerza F no produce ningún efecto apreciable sobre el peso P . Sin embargo, en los puntos A, a pesar de ser F mucho más pequeña que P , como su dirección es perpendicular a P y no opuesta, sí que produce un efecto haciendo que las aguas de los puntos A se deslicen hacia B. En B aumenta el volumen de las aguas y por lo tanto su altura también aumenta, dando lugar a la pleamar.

El aumentar el volumen del agua en B, (frente a la Luna) y por lo tanto su nivel, es lo que hace que sino profundizamos nos equivoquemos y achaquemos ese aumento del nivel de las aguas en B a la atracción de la Luna en B y no en A.

Esto de que la fuerza de arrastre F , pequeña, perpendicular a P , mucho más grande, puede producir un efecto apreciable se puede comprobar de la siguiente forma.

Si en el puerto queremos levantar un pesado yate tirando de él hacia arriba con nuestra fuerza, no lo conseguiremos. Sin embargo, si tenemos una cuerda y tiramos del yate en sentido horizontal, a pesar de que nuestra fuerza es mucho más pequeña que el peso del yate, veremos como este se desplaza horizontalmente.

En Usurbil en 2019 hubo una prueba de arrastre de piedra por personas, (4 hombres y dos mujeres), y arrastraron una piedra de 3.800 kg, la llamada Harri Handia. Hasta entonces este deporte se llamaba "Gizon Proba", pero a partir de entonces, por la participación de las mujeres, se le llama "Giza Proba", Prueba de arrastre por personas.

Una vez que ya estamos convencidos de que es mucho más fácil y práctico arrastrar que elevar, vamos a pasar a comentar algo sobre la construcción de las pirámides.

Hay muchas teorías dispares sobre la forma en que se construyeron las pirámides, tanto las de Egipto como las de Mesoamérica. Andamios de madera altísimos, palancas para elevar los bloques de piedra, larguísimas rampas exteriores, rampas interiores en espiral, interior hecho con piedras de menor tamaño y utilización de los bloques grandes solo en el exterior, etc.

En la figura 2 se ven algunas de las soluciones propuesta de rampas.

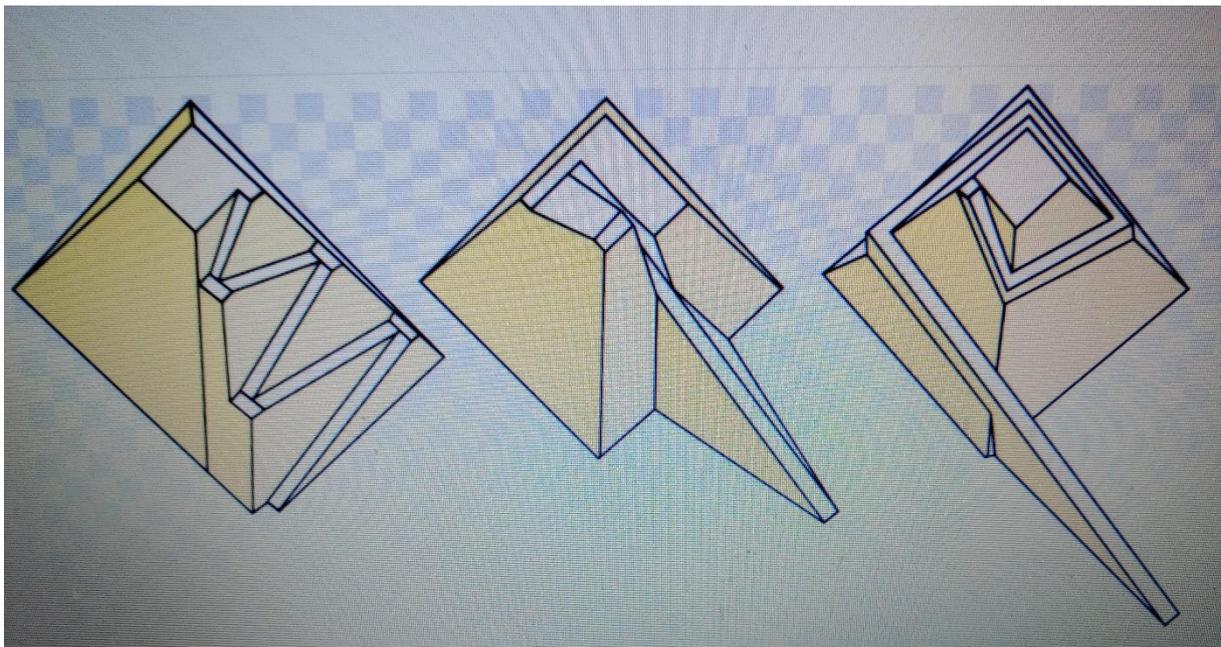


Figura 2.

Ninguna de estas figuras explica con detalle el proceso de construcción desde el inicio, no se detallan para nada las fases constructivas.

Uno de los egiptólogos más reconocidos, a pesar de no ser arqueólogo es el ingeniero galés Peter James. Propone que el interior de las pirámides está construido sobre todo con piedras de relleno, material más fácil de obtener y transportar que los grandes bloques, que solo se utilizarían en el exterior.

La primera referencia a la forma de construcción de las pirámides se la debemos a Heródoto, en el siglo V antes de Cristo. Según el, la mayor parte de los bloques de piedra habrían sido elevados con palancas. Cuando Heródoto escribió esto, ya llevaban las pirámides 2.000 años construidas, parece ser que esto se lo contaron algunos sacerdotes egipcios. Pero al haber pasado 2.000 años desde su construcción, no es un testimonio de garantía. No es un testimonio directo de los constructores.

Basado en la afirmación de Heródoto, un artista en el siglo XIX realizó el grabado de figura 3. En este grabado se aprecia cómo se imagina el dibujante Antoine Yves Goguet en 1820 el trabajo con palancas, distribuyendo el peso de cada bloque entre dos de ellas.



Figura 3.

Pero lo poco que hasta el momento conocemos directamente mostrado por los antiguos egipcios, es esta pintura de una de las paredes de la tumba de un tal Djhutihotep, figura 4. Donde se ve cómo transportaban una estatua de unas 60 toneladas por medio de un trineo de madera. Se ve muy bien como un trabajador moja la arena con agua para disminuir el rozamiento, y por lo tanto la fuerza de arrastre necesaria.

En experimentos recientes se ha comprobado que el coeficiente de rozamiento entre la madera y la arena húmeda es bastante bajo, menor de 0,3.

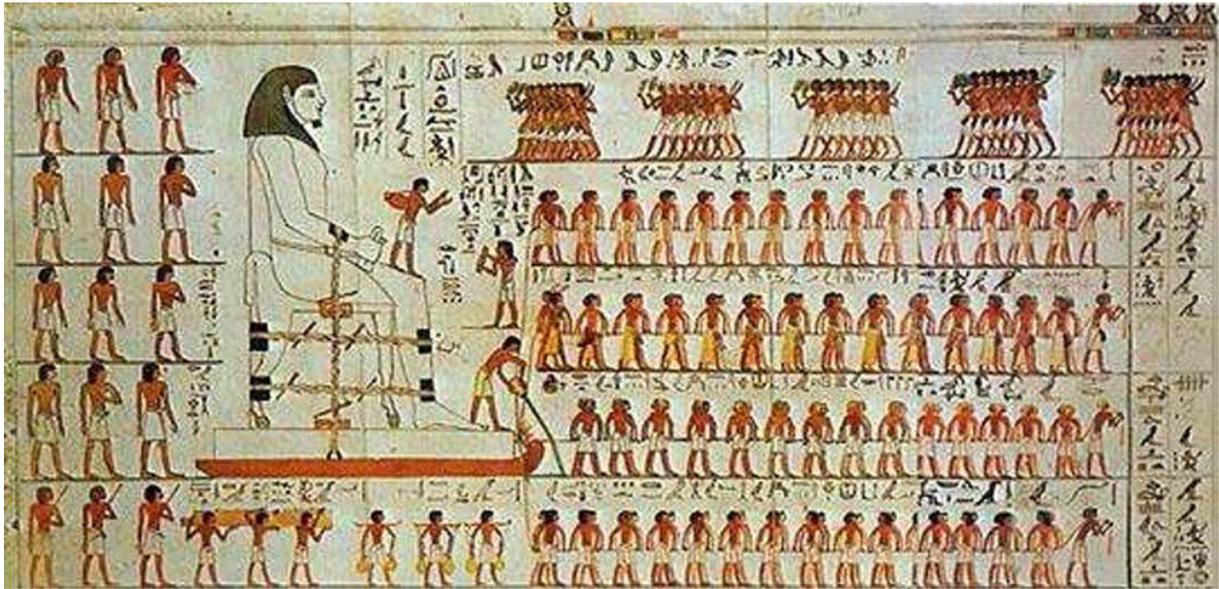


Figura 4.

En esta pintura mural se puede ver como 172 trabajadores tiran de unas sogas arrastrando la monumental estatua

Otra referencia tomada de los antiguos egipcios sobre el movimiento de grandes bloques la tenemos en las canteras de alabastro de Hatnub. En la figura 5 se ve una rampa central y dos escaleras laterales. Los grandes bloques de alabastro se arrastraban por rampas del 20%.

La mayor parte de los egiptólogos está en contra de la idea de las rampas. Alegan que una sola rampa exterior sería larguísima (casi 1 km.) y además que no hay restos en ningún lugar de posibles rampas interiores.



Figura 5.

Vamos a construir una pirámide ideal con esto que hemos mencionado anteriormente. Utilizaremos bloques de $1 \times 1 \times 1$, es decir de 1 metro cúbico cuyo peso es de 2.500 kg. Que es el peso medio de los bloques de la gran pirámide de Keops. El interior lo construiremos con piedra pequeñas como propone el ingeniero Peter James.

Con esta descripción de la construcción de esta pirámide ideal no queremos decir que pensemos que las construyeran todas de esta manera, solamente que es una posible forma de construcción después de las consideraciones anteriores. Además, según parece las pirámides no fueron construidas todas de la misma forma, sino que se fueron acumulando conocimientos y experiencia de pirámides anteriores.

Construiremos como ejemplo una pirámide de 7 pisos, pero el ejemplo será válido para cualquier altura, solo hace falta más material, más mano de obra y más ánimo.

En principio traeremos los bloques necesarios para el primer piso, un cuadrado de 15×15 m. Más sencillo sería hacer con bloque las dos primeras hiladas por ejemplo y el interior rellenarlo con piedras de menor tamaño sin labrar ni pulir. A continuación, haríamos la primera rampa del 20% con una meseta en su parte final para poder colocar más adelante los bloques de la segunda planta. Esta rampa más la meseta de 1m. tiene un desarrollo total de 6 m. si esta rampa la hacemos con una pendiente del 20%.

La fuerza a ejercer sobre cada bloque colocado sobre un trineo de madera, para subir por esta rampa de 1 m de altura, 5 de longitud y 1 de anchura es fácil de calcular. Por un lado, hay que vencer la fuerza de rozamiento que es aproximadamente $2.500 \times 0,3 = 750$ kg. Asimismo, tenemos que vencer la componente en el sentido de la rampa de su peso que es aproximadamente $2.500 \times 0,2 = 500$ kg. Es

decir, una fuerza de 1.250 kg. En la figura 6 se puede ver esta primera fase del proceso terminada. Primer escalón ejecutado y primera rampa para subir los bloques de la segunda.

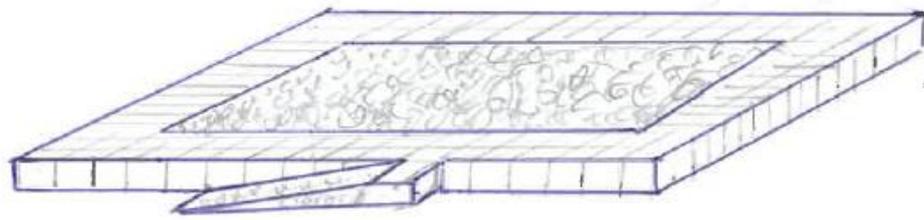


Figura 6.

A continuación, se elevan por la rampa 1 los materiales necesarios para realizar el segundo piso. Así como la rampa 2 para poder seguir continuando. Ver figura 7.

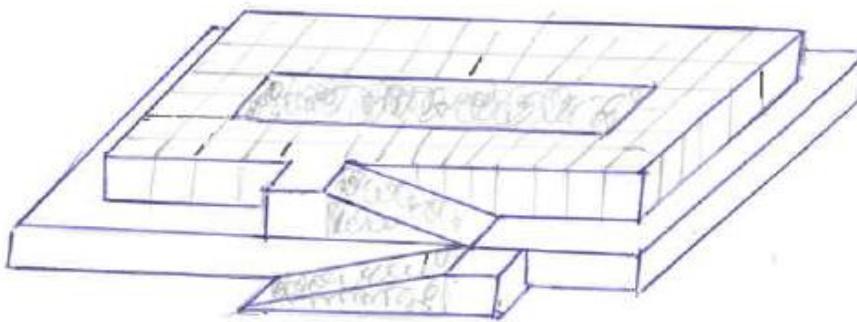


Figura 7

Las rampas últimas no se pueden ejecutar sin giros, porque los laterales de los pisos superiores no son suficientes para la longitud necesaria de rampa más la meseta correspondiente.

En la figura 8 se puede ver los esquemas en planta y alzado de la pirámide con sus rampas.

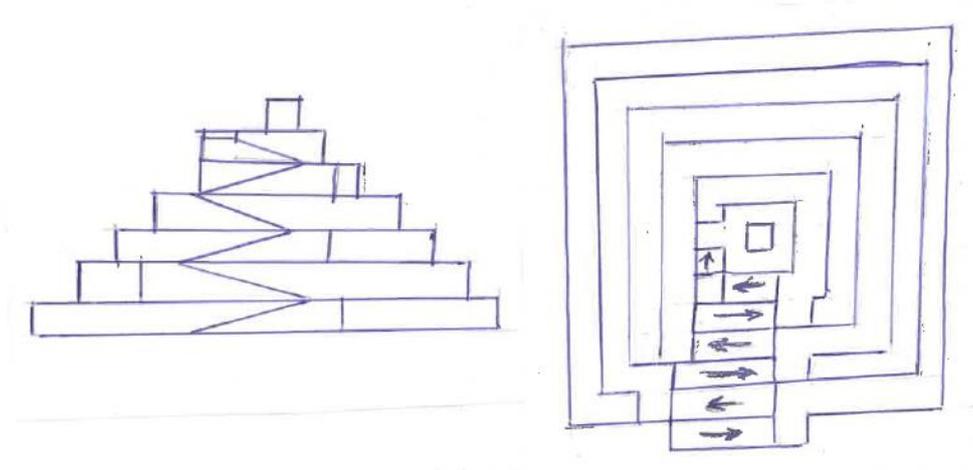


Figura 8

Una vez llegados hasta aquí, lo siguiente es retirar las rampas comenzando desde arriba hacia abajo y de esta forma queda construida la pirámide que tiene forma escalonada. Las primeras pirámides fueron de este tipo y posteriormente se terminaban con sus caras planas.

La pirámide escalonada de Zoser, anterior a las pirámides de caras planas, tiene una altura de 62 m. y un lado en la base de 115 m. La relación entre la altura y el lado de esta pirámide escalonada es $62/115=0,54$. En nuestra pirámide ideal esta relación es de $7/13=0,53$, lo cual quiere decir que la forma de construcción de esta pirámide de Zoser puede ser similar a la de nuestra pirámide ideal.

La gran pirámide de Keops en Egipto tuvo 146,7 m., pero la más alta construida es la de La Danta, situada en Mesoamérica con una altura de 170 m.

En nuestro ejemplo se puede continuar el proceso añadiendo antes de retirar las rampas, bloques de sección triangular, de esta forma conseguiríamos construir una pirámide de caras planas.

Para colocar estos bloques de sección triangular habría que hacer el trabajo de arriba hacia abajo, empezando por la parte alta, para de esta forma poder colocar estos bloques en las zonas de las rampas que se van eliminando.

La primera pieza de remate a colocar sería una pequeña pirámide, y luego iríamos descendiendo hasta al nivel del suelo.

Ver figura 9.

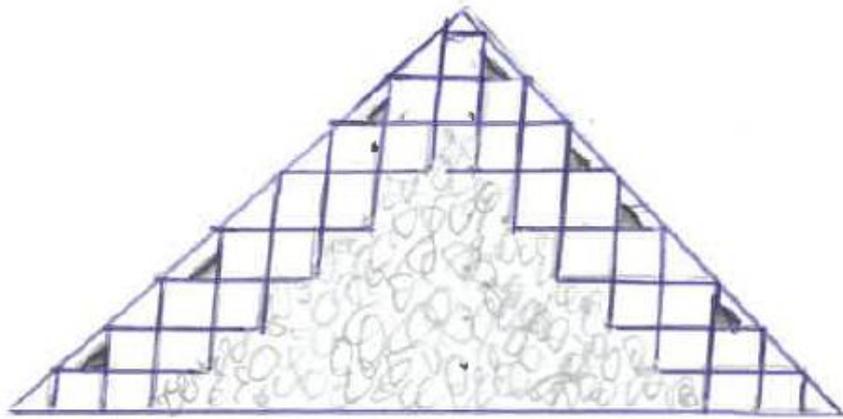


Figura 9-

Los materiales utilizados en las rampas se podrían dejar en cada piso correspondiente, almacenándolos en las zonas en oscuras de la figura 9 y cubriéndolos con bloques de sección trapezoidal en lugar de triangular. De esta forma se podría explicar la no aparición de restos de material utilizado en las rampas.

Si en vez de ejecutar las rampas en una sola cara, lo hiciésemos en las cuatro caras, se reduciría considerablemente el tiempo de construcción.

Para terminar, mencionaré los dólmenes de Antequera, en la provincia de Málaga. Fueron construidos 3.700 años antes de Cristo. Una de las cobijas de uno de estos dólmenes, situada a 3,50 m de altura sobre el suelo, tiene un peso de unos 180.000 kg. no se sabe si fue colocada solo utilizando fuerza humana (giza proba) o utilizaron animales de tiro (idi proba), pero lo que es seguro es que no la izaron, sino que la arrastraron por medio de alguna rampa.

Recuerdo el viaje que hicimos los ingenieros a Egipto con el colegio, que fue el último que lo hicimos los tres colegios juntos. Me maravillaron las pirámides, los templos, las tumbas del Valle de los Reyes. Visitamos el museo de El Cairo y recuerdo que cuando nos enseñaron los tesoros de la tumba de Tutankamon, me extrañó ver entre los diversos objetos uno que claramente era un boumerang.

Posteriormente me he enterado que hay boumerangs en muchas otras partes del mundo. El más antiguo apareció en Polonia hace unos años y tiene una antigüedad de 30.000 años.

Antton del Campo.

Ingeniero Industrial