

## TEORIA SOBRE LA CONSTRUCCION DE LA GRAN PIRAMIDE DE EGIPTO

ALEJANDRO RICART CABUS  
Sociedad Catalana de Egiptología

### RESUMEN

*El presente trabajo tiene por objeto exponer y argumentar mi teoría sobre el método constructivo utilizado por los antiguos egipcios en la edificación de la Gran Pirámide de Gizeh.*

*En primer lugar se hace una descripción de la Gran Pirámide en base a las precisas mediciones efectuadas por W.M.F. Petrie, J.H. Cole y el docto estudio de los arquitectos italianos V. Maragioglio y C. A. Rinaldi: situación geográfica, dimensiones, constitución, conductos, pasajes y cámaras interiores.*

*Respecto a la finalidad de su construcción, se analiza la teoría funeraria aceptada por la mayoría de investigadores y arqueólogos: W.M.F. Petrie, L. Borchardt, I.E.S. Edwards, L.V. Grinsell, J. Vandier y otros.*

### ABSTRACT

*The purpose of this work is to present and justify my theory on the construction method used by the ancient Egyptians when building the Great Pyramid of Gizeh.*

*In the first place, there is a description of the Great Pyramid, based on the measurements made by W.M.F. Petrie, J.H. Cole, and the extensive study by the Italian architects V. Maragioglio and C.A. Rinaldi on the geographic situation, dimensions, composition, and inner ducts, passages, and chambers.*

*Regarding the purpose of the construction, the funeral theory accepted by the majority of the researchers and archaeologists: W.M.F. Petrie, L. Borchardt, I.E.S. Edwards, L.V. Grinsell, J. Vandier, and others, is analyzed.*

*En cuanto al método constructivo, se analizan las diversas máquinas elevadoras que ha inspirado el controvertido testimonio de Herodoto: Legrain y Choisy, Louis Croon, Hermann Strub-Roessler y Peter Hodges. También el recurso de rampas o planos inclinados de Uvo Hölscher, N.F. Wheeler - Georges Goyon y Jean Philippe Lauer, considerado por los técnicos como el único método posible en la construcción de las grandes pirámides.*

*Finalmente hago una exposición de mi teoría constructiva. El sistema que propongo, asigna a las cámaras y pasajes interiores de la pirámide la principal función mecánica de su propia construcción; hipótesis contraria a la versión más aceptada que les atribuye un fin exclusivamente funerario. Si bien por medio de este mecanismo sería factible edificar cualquier pirámide, a partir de determinado nivel, no pretende ser una teoría alternativa sobre la construcción de las pirámides en general. Únicamente la pirámide de Khefrén, por sus grandes dimensiones, admitiría de forma ventajosa el mismo procedimiento; no obstante, la ausencia de cámaras interiores en los niveles convenientes y la inexistencia de los conductos llamados respiraderos que comunican las cámaras con el exterior excluyen esta posibilidad en la segunda mayor pirámide.*

*As for the method of construction, the different lifting machines that inspired the controversial testimony by Herodotus are analyzed: Legrain and Choisy, Louis Croon, Hermann Strub-Roessler and Peter Hodges. Also, the use of ramps or sloped planes by Uvo Hölscher, N.F. Wheeler-Georges Goyon and Jean Philippe Lauer, considered by the technicians as being the only method that could possibly have been used when constructing the great pyramids.*

*Finally, I expose my theory on the construction. The system I propose attributes the inner chambers and passages of the pyramid with the main mechanical function of their own construction. This hypothesis is contrary to the commonly accepted version that attributes an exclusively funeral purpose to them. Even though any pyramid could easily be built using this method, from a certain level onwards, it has no pretence of being an alternative theory on the construction of the pyramids in general. Only the Chephren pyramid, given its enormous dimensions, would favourably accept this procedure. However, the absence of inner chambers at the convenient levels and the absence of ducts known as vents that communicate the chambers to the outside exclude this possibility in the second big pyramid.*

Palabras clave: Arquitectura, Egipto, Gran Pirámide.

## 1. Descripción de la Gran Pirámide

La Gran Pirámide de Gizhe se atribuye al faraón Khéops (Khufu), segundo rey de la IV Dinastía. Diversas cronologías de esta Dinastía son: 2723- 2563, 2600-2480, 2575-2465, 2680-2560, 2590-2463, a. de C.

Hijo de Snefru y Hetepheres I. Padre de Khefrén y hermano mayor o padre de Jedefre que le sucedió en el trono.

El papiro de Turín asigna a Khéops un reinado de 23 años.

Manetón de Sebenitos le denomina Sufis y le asigna un reinado de 63 años.

Herodoto en su segundo libro, Euterpe, de los 9 en que fue dividida su historia, atribuye la construcción de la Gran Pirámide a un faraón llamado Quéope que reinó durante 50 años y que ocupó y arruinó a su pueblo, antes tan floreciente, durante 30 años en esta ardua empresa.

### *Situación geográfica*

La pirámide se halla emplazada sobre una meseta rocosa denominada Gizeh, en la parte occidental del Nilo, a unas 10 millas al sur-oeste del centro de El Cairo y a 60,41 m. sobre el nivel del mar en Alejandría, tomando como cota 0 la superficie del zócalo de cimiento sobre el cual se levanta la fábrica.

Junto a ella se alzan las pirámides de sus sucesores, Khefrén y Micerino. También tres pequeñas pirámides satélites y mastabas o tumbas de familiares.

Sus coordenadas geográficas son: 29° 58' 51" Norte y 31° 09' 00" Este.

### *Medidas*

Las medidas del cuadrado de la base, según Cole (1925) son las siguientes:

Lado Oeste:	230,357 m.
Lado Norte:	230,253 m.
Lado Este:	230,391 m.
Lado Sur:	230,454 m.
Longitud media de los lados:	230,363 m.
Area de la base: $230,36375^2 =$	53.067,457 m <sup>2</sup> .

### ***Orientación***

Sus cuatro fachadas triangulares están orientadas con gran exactitud hacia los 4 puntos cardinales. Según Cole:

Lado Norte: Dife. de "0":	- 2' 28"	Acimut: 89° 57' 32"	Acimutal medio: - 38"
Lado Este:	- 5' 30"	359° 54' 30"	+ 24"
Lado Sur:	- 1' 57"	89° 58' 3"	-1,9"
Lado Oeste:	- 2' 30"	359° 57' 30"	- 36"
Diagonal NE-SO 325,699	- 3' 15"	44° 56' 45"	+ 9'
Diagonal NO-SE 325,867	- 2' 57"	359° 57' 3"	- 9'
Mediana NS 230,374	- 4'	359° 56'	+ 54"
Mediana EO 230,354	- 2' 12"	89° 57' 48"	- 54"
Media medianas 230,364			

Diferencia Acimutal media: Petrie: 3' 43"      Cole: 3' 6"

### ***Zona de construcción***

La zona elegida para edificar la pirámide presentaba un relieve rocoso que fue incorporado a la fábrica. Se desconoce la forma y el volumen de roca que se respetó. Se supone que fue nivelado dejando terrazas de distinta altura.

Se conocen cinco puntos por donde puede constatar la presencia de este promontorio rocoso: primer tramo del corredor descendente, a+ 3 m. del nivel superior del zócalo considerado como cota 0; en el pozo de servicio, donde la roca natural alcanza la cota +7 m; en el ángulo NE, donde se aprecia la roca labrada en forma de sillar, hasta 1,95 m. para adaptarla al núcleo; también en los ángulos NO y SO.

La roca que rodeaba este núcleo fue nivelada y sobre ella se colocó un pavimento perimetral de caliza blanca perfectamente nivelado y con juntas finísimas. Cole observó únicamente una diferencia de 21 milímetros entre la parte más baja que se halla en el centro de la cara Norte y la más elevada, cerca del ángulo SE.

Este zócalo sobresale de la pirámide 45 cm. al Este, 42 cm. al Norte, 35-38 al Oeste y 30 cm. al Sur. La altura de su contrahuella es de 55 cm. y presenta un ángulo respecto a la vertical de 2°-3°.

En los ángulos NE, NO y SE, fueron excavadas depresiones rectangulares para que se encastraran las piedras angulares del revestimiento.

### *Constitución del núcleo*

Formado por sillares de 1 m<sup>3</sup>. de media, dispuestos en hiladas horizontales. Las piedras, de caliza fósil, procedían en su mayoría del propio altiplano al SE de la pirámide de Khéops. Petrie opinaba que se extrajeron de las canteras del lado arábigo del Nilo.

En su parte más interior de la fábrica, se alternan bloques de grandes dimensiones con otros menores. Las juntas están rellenas de un fino mortero de gran resistencia, de color rosado, formado por arena, yeso, caliza y granito.

Los sillares externos y los que rodean las cámaras están mejor labrados; son de dimensiones más regulares y presentan juntas más finas que los internos y los que ocupan niveles altos.

En general, la altura de las hiladas decrece a medida que se asciende; no obstante la secuencia no parece que siga una norma o período que se repita. Según Petrie la mayoría de las hiladas tienen una altura comprendida entre 0,51 y 0,76 m. Las hiladas: 3, 4, 5, 6, 7, 36, 44, 98, una altura de 1,02 m. Solamente las hiladas 1,2 y 35 superan 1,26 m. de altura.

Las fachadas presentan una depresión a lo largo de la apotema. La mayor profundidad se da en la cara Norte con 0,94 m. No hay unanimidad en cuanto a la finalidad de esta depresión, ni si el posterior revestimiento también la presentaba. Podría ser estética para resaltar las aristas; o bien técnica a fin de evitar una posible deformación de las caras hacia el exterior.

El número de hiladas existentes es de 203.

El número de hiladas supuestas oscila, según autores, entre 210 y 220.

### *Revestimiento*

Formado por hiladas horizontales de sillares de piedra caliza blanca, fina y compacta; cortados en forma de trapecio. La piedra, de mejor calidad que la del núcleo, procedía de las canteras de Mokattam. La altura de los bloques coincidiría con los respectivos sillares del núcleo; aunque es posible que algunos fueran equivalentes a dos hiladas superpuestas.

Las diferencias de nivel de la primera hilada de revestimiento entre fachadas no llegan a 3 cm.

El espesor de las juntas entre bloques no sobrepasa el medio milímetro. Las juntas se rellenan de una lechada muy líquida a base de yeso.

La pirámide fue despojada de su revestimiento probablemente a partir de la dominación árabe. La mezquita del sultán Hasan (1356) está construida casi enteramente con sillares del revestimiento de la pirámide de Khéops.

Se conservan algunos bloques en buen estado en la cara Norte y Este. En las fachadas Oeste y Sur se hallan muy desgastados por la erosión del viento arenoso.

El hecho de que sólo se conserven escasas piedras de la primera hilada del revestimiento y que el plano de asentamiento tenga una pequeña inclinación hacia el centro hace muy difícil precisar su ángulo.

La media de diversas mediciones efectuadas por Petrie en la cara Norte equivale a un ángulo de  $51^{\circ} 50' 40'' \pm 1,5''$ .

Esta magnitud es aceptada por Cole como media general para toda la pirámide.

Según el arquitecto francés J.Ph. Lauer, el ángulo elegido sería:  $51^{\circ} 50' 35''$  que equivale a la relación  $14/11 = 1,2727273$ .

Si la relación entre el perímetro de la base y la altura fuera  $\pi$ , el ángulo resultante sería:  $51^{\circ} 51' 17''$ .

Si guardara la proporción  $\phi$ , o Razón Aurea, el ángulo sería:  $51^{\circ} 49' 38''$ .

El cálculo de las restantes dimensiones se han efectuado en base al ángulo teórico  $\phi$ ; en todo caso las diferencias son mínimas.

Altura hipotética de la pirámide:	146,51361 m.
Longitud hipotética de la apotema:	186,36819 m.
Volumen hipotético de la pirámide:	2.591.701,6 m <sup>3</sup> .

### *Accesos a su interior*

La entrada a las cámaras interiores se efectúa a través de la brecha abierta por Al-Mamún en el siglo IX después de Jesucristo, quebrando y desalojando los sillares a nivel de la séptima hilada y sobre la apotema de la fachada norte; no obstante, la verdadera entrada de la pirámide se corresponde con la hilada de mampostería 19 y a 16,97 m. de la base. Esta pequeña entrada, desplazada del eje de simetría 7,29 m. (7,28 según estudio de la Universidad de Waseda, 1987) está coronada por un gablete de inmensas piedras cuyas dimensiones no

parecen estar justificadas en base a una exclusiva función de descarga del peso de los sillares que gravitan sobre el angosto pasaje.

Según Estrabón, la entrada estaba provista de una piedra giratoria que actuaba a modo de puerta basculante y daba acceso al largo y profundo pasaje. Petrie acepta este testimonio dado que en la pirámide romboidal de Dahshur hay indicios de un mecanismo de acceso semejante.

### *El Pasaje Descendente*

Este largo y rectilíneo conducto mide 1,20 m. de alto por 1,05 m. de ancho. Con una pendiente de  $26^{\circ} 31' 23''$  según Petrie (Edgar,  $26^{\circ} 18' 10''$ ) y una longitud de 105,36 m., cruza en primer lugar toda la masa de sillería, a lo largo de 34 m., para continuar profundizando en la roca viva del subsuelo hasta desembocar en un corto pasillo horizontal, de menor sección y una longitud de 8,91 m., que conduce (previo escalón) a la gran e inconclusa *Cámara Subterránea*.

### *La Cámara Subterránea*

La estancia mide 8,36 m. de Norte a Sur por 14,06 m. de Este a Oeste. Su máxima altura es de 4,3 m. El esculpido de su techo y paredes se dejó perfectamente acabado; no así el suelo, que presenta grandes protuberancias rocosas, surcos e incluso un pozo que fue agrandado por el coronel Vyse. La estancia es tan exageradamente irregular que ha dado pie a fantásticas interpretaciones esotéricas. Aunque se desconocen los motivos, la opinión más aceptada es que el aspecto actual se debe al abandono de forma repentina de los trabajos de excavación.

De esta cámara parte en dirección Sur y sobre la cota -30,07 m., un pasillo ciego, de trazo irregular. Queda interrumpido bruscamente a los 16,41 m. Probablemente el propósito sería construir dos cámaras subterráneas unidas entre sí por un corto pasaje tal como presenta la pirámide *Roja* en Dahshur.

### *Pasaje Ascendente*

En la parte superior o techo del *Pasaje Descendente*, se halla el inicio del *Pasaje Ascendente*; obstruido en este punto por tres grandes bloques de duro granito. Ambos pasajes tienen las mismas dimensiones y se bifurcan mutuamente adoptando un ángulo de  $26^{\circ} 18' 10''$  respecto a la horizontal, según Edgar. Según Petrie el ángulo del Pasaje Ascendente es de  $26^{\circ} 2' 30''$ . La proyección del piso del Pasaje Ascendente sobre el piso del Descendente queda a 28,22 m. de la entrada.

Gracias a la excavación de los árabes es posible rodear la cuña obstructora y acceder a las cámaras superiores. El tapón granítico tiene una longitud de 4,54 m., aunque se supone que originalmente alcanzaría los 5,15 m. dado que el tercer bloque aparece quebrado y por ello de menor longitud. El primer bloque tiene forma puntiaguda en su parte delantera, reduciendo su anchura a 97 cm. en lugar de los 105 cm. de su parte posterior. El objeto de esta reducción es adaptarse al constreñimiento que presenta el extremo inferior del pasaje, haciendo el sellado más sólido y estanco.

El piso del Pasaje Ascendente, con una longitud de 39,28 m., a partir de su proyección sobre el Pasaje Descendente, desemboca en un espacio que es confluencia de la espléndida *Gran Galería* y el corredor llano que concluye en una segunda estancia: la *Cámara de la Reina*.

### *Corredor de la Cámara de la Reina*

El pasillo que conduce a esta última cámara tiene solamente 1,17 m. de alto pero, cuando se han recorrido 33,2 m. y faltando solamente 5,5 m. para acceder a la estancia, se presenta un escalón y la altura se incrementa en 50 cm. Este corredor tiene algunas peculiaridades dignas de ser remarcadas. En primer lugar, es horizontal únicamente en 1,32 m. a partir de la pared norte. Se produce un desnivel hacia la cámara que culmina en el escalón con un valor de 10 cm. En segundo lugar, las paredes están formadas por sillares con juntas coincidentes. Esta insólita disposición llevó a los arquitectos franceses Gilles Dormiön y J. Patrice Goiden a solicitar permiso de las autoridades egipcias para practicar tres agujeros en los sillares de la pared Oeste. La operación se llevo a cabo en 1986 con éxito, dado que se localizaron espacios vacíos que contenían una arena especial formada en su mayor parte por cuarzo. En 1987 la existencia de estas cavidades y otra posterior y más próxima a la Cámara de la Reina fue detectada por medio de ondas electromagnéticas en unas pruebas de sondeo en toda la pirámide, efectuadas por la Universidad de Waseda (Japón) bajo la dirección de Sakuji Yoshimura.

### *Cámara de la Reina*

El piso que conduce a la Cámara de la Reina se halla a 21,19 m. sobre la base de la pirámide; aproximadamente la misma distancia que la separa del piso de la tercera y superior cámara. La sala mide 5,23 m. en sentido Norte-Sur y 5,76 en su eje Este-Oeste. Su techo está formado por 6 gabletes de piedra caliza con una doble pendiente de 30° 14' y una altura máxima de 6,23 m. El suelo parece como si lo hubieran dejado sin acabar o a falta de un posterior revestimiento.



Su pared Este presenta una cavidad formada por cinco secciones telescópicas, llamada *Nicho*, desplazado 0,64 m. del eje de simetría de la estancia y que el coronel Vyse excavó hasta una longitud de 15,3 m. con la esperanza de hallar algún nuevo y oculto pasaje. Se desconoce su función. Petrie creía que su finalidad era albergar una estatua de diorita.

### ***Respiraderos de la Cámara de la Reina***

Sus paredes Norte y Sur, a la altura de la entrada, están provistas de sendos conductos estrechos, 22 cm., cuya trayectoria se vuelve ascendente a partir de 1,93 m. con un ángulo de 37° 28' el Norte y a 2,29 m. con un ángulo de 38° 28' el que se dirige hacia el Sur. Estos conductos, llamados respiraderos, fueron descubiertos en 1872 por Waynman Dixon. Su existencia había pasado desapercibida dado que su embocadura permanecía oculta tras escasos centímetros de piedra del revestimiento de la propia cámara. En 1993 se reanudó el proyecto de mejora del sistema de ventilación iniciado el año anterior. En aquella ocasión se instalaron extractores de aire en los canales o respiraderos de la Cámara del Rey. Esta vez se trabajó sobre los conductos de la Cámara de la Reina. Hasta entonces solamente se habían explorado los 8 m. iniciales y existían serias dudas respecto a su verdadera longitud, pues todavía hoy se desconocen sus respectivas salidas al exterior. A través del conducto que parte de la pared Sur se introdujo un sofisticado robot, construido por el ingeniero alemán Rudolf Gantenbrink que, inesperadamente, recorrió más de 60 m. antes de detenerse.

### ***Zona de confluencia de los tres pasajes***

Regresando a la zona de confluencia de los tres pasajes observamos la presencia en ambas paredes de 5 cavidades de forma trapezoidal alineadas siguiendo la trayectoria que une el piso de la Gran Galería con el Pasaje Ascendente. Dichos huecos tienen profundidad alternada y el segundo, que ocupa una posición aproximadamente central, es mucho mayor que los restantes. Se supone que contenían vigüetas para sostener una plataforma que impedía el paso a la Cámara de la Reina.

### ***La Gran Galería***

Es una obra maestra de arquitectura y asombra tanto por sus dimensiones como por la pericia con que fue realizada. Es prolongación del estrecho *Pasaje Ascendente* pero, a diferencia de éste, su acimut es ligeramente diferente: + 1° 20" (Petrie). De ancho mide 2,09 m. y, lo más asombroso, el techo se eleva en vertical a 8,48 m. Sus paredes, formadas por inmensas piedras prismáticas, componen una bóveda telescópica por el recurso arquitectónico basado en hacer

que siete ménsulas, en ambas paredes, a partir de 1,8 m. vayan sobresaliendo unas pulgadas a medida que se gana altura.

El techo resultante de este acercamiento es la mitad del ancho de la galería en su parte inferior. Treinta y siete jácenas dispuestas a modo de diente de sierra conforman esta singular techumbre.

El empleo del salidizo en las hiladas, como recurso para formar falsas bóvedas, ya fue utilizado por Esnofru en las cámaras interiores de sus pirámides emplazadas en Dahshur: *Romboidal* y *Roja*. Incluso la pirámide de Meidum, anterior a todas ellas, adopta para su cámara funeraria la misma disposición.

El suelo de la *Gran Galería*, a modo de rampa, con un pasillo central de 1,05 m. de ancho y 46,12 m. de largo, presenta largas y estrechas entalladuras transversales que se supone fueron practicadas con posterioridad para facilitar la escalada. Está flanqueado por ménsulas de 52 cm. de altura y anchura.

Estos altos escalones laterales presentan, en toda su longitud y a espacios regulares, 27 cavidades rectangulares, alternativamente largas y cortas. A cada una de estas oquedades (52 y 59 cm. de longitud, 14 cm. de ancho y 18 cm. de profundidad) le corresponde otra excavada en la pared formando un pequeño *nicho* que, a su vez, se halla provisto de una piedra o mojón inserto. Unas no muy profundas depresiones, paralelas al piso de la galería, cruzan e incluso rebasan en algo a los mojones. Solamente los dos primeros agujeros, en el extremo inferior de la galería, carecen de *nicho*.

Los arqueólogos, hasta ahora, no han sabido dar una explicación convincente de la función de estas cavidades.

Una ranura esculpida recorre, en toda su longitud, las dos paredes de la galería a nivel del tercer saliente.

El pasillo central finaliza, en su extremo superior, en un alto escalón (90 cm.) muy deteriorado, o esculpido, conocido por *Gran Peldaño*. Sobre esta plataforma o descansillo, y en ambos rincones, se observa también la presencia de un hueco de similares características a los que taladran las ménsulas de la galería.

Partiendo del *Gran Peldaño* y a través de un conducto de 1,11 m. de altura por 1,05 de ancho se accede a una sala del mismo ancho y 2,96 m. de longitud llamada *Antecámara*.

### **Antecámara**

Sus dos paredes laterales, de granito, tienen esculpidos cuatro rebajes verticales. El primero, de 30 cm. de ancho, hace la función de guía de dos misteriosas losas de granito; la inferior es fija y forma un falso dintel a continuación de la entrada. La superior, desplazable, presenta una protuberancia llamada *sello*.

Los tres restantes rebajes, de 55 cm. de anchura, se prolongan unas tres pulgadas por debajo del piso de la estancia (de granito en su mayor parte) y finalizan en la pared Oeste a una altura de 2,86 m., con huecos esculpidos en forma semicircular de 38 cm. de diámetro; no así los esculpidos sobre la pared Este que, a una altura de 2,61 m., acaban de forma llana.

La pared Sur de esta cámara, también de granito a excepción de una estrecha franja de piedra caliza en su parte superior, está surcada verticalmente por cuatro regatas de unos 10 cm. de diámetro y separadas por espacios regulares.

El diseño de todas estas canaladuras en la antesala de una cámara funeraria sugiere a los investigadores una posible función de guía para accionar rastillos o compuertas destinadas a impedir el acceso a la misma.

Otra puerta similar a la anterior y con una longitud de 2,56 m. nos permite abandonar la *Antecámara* y penetrar en la mayor y más sugestiva sala de la pirámide: La *Cámara del Rey*.

### **La Cámara del Rey**

Magnífica estancia construida enteramente con bloques de granito rojo, procedente de las canteras de Asuán, de considerables dimensiones y ajustados con toda precisión. El dintel de la puerta o entrada lo forma un monolítico bloque de granito que mide 3,47 m. de largo y 2,17 m. de alto. Una estrecha franja del mismo se introduce o encastra en la pared Este.

La cámara, considerada sepulcro violado del faraón Khéops, mide 10,48 m. de Este a Oeste y 5,24 m. de Norte a Sur. Su altura alcanza los 5,84 m.

De las dimensiones de la cámara se ha intentado deducir el valor del antiguo *codo* egipcio. Si fuera así, la cámara mediría veinte de largo por diez de ancho de estos hipotéticos codos.

Las mediciones de Petrie han revelado que el suelo de la estancia no es completamente plano; tampoco forman ángulo recto las paredes con el techo y

el suelo, la diferencia es del orden de 5' de grado. En opinión de los arquitectos italianos Maragioglio y Rinaldi, la mayor parte de estas diferencias se deben a un asentamiento del núcleo de mampostería. Las variaciones de nivel en el piso oscilan entre 2,5 y 5 cm., hallándose el mayor desnivel en el lado Sur, a -3,3 cm. de la media. Otra peculiaridad de esta estancia es que las paredes se asientan sobre los sillares del núcleo y quedan 15 cm. por debajo del piso de la cámara.

### ***Respiraderos de la Cámara del Rey***

En la pared Sur, a nivel de la entrada y a 2,48 m. de la esquina SE, destaca un gran y profundo boquete de forma oval. John Greaves, en su exploración de la pirámide en 1638, había reparado en él; no obstante, desconocía su naturaleza y lo atribuyó a un receptáculo para acomodar lámparas. Fue el coronel Howard Vyse quien descubrió en 1837 que en realidad se trataba de un estrecho conducto que con ángulo ascendente cruzaba toda la masa de sillería hasta comunicar con el exterior a nivel de la hilada 102 del núcleo. Sus medidas son de 23 x 22,5 cm. y su ángulo de pendiente es de 44° 58' según la media de diversas mediciones efectuadas por Petrie. Maragioglio y Rinaldi creen que el desboco que presenta en su inicio se debe a exploraciones posteriores. Por el contrario, Edgar cree que tanto el desboco que alcanza los 70 cm. de altura como el doble codo interior con su forma oval fue estucado por los egipcios y formaba parte del diseño original. Este conducto tiene un homólogo en la pared Norte aunque de muy distinta abertura y trayectoria. Es llano en su primer metro y medio para ascender girando a NO. Presenta tramos de diferente pendiente (ángulo medio 31° 33') hasta irrumpir a nivel de la hilada 101 del núcleo de mampostería.

### ***Conjunto de techos***

El primer techo de la cámara lo forman nueve monolíticos bloques de granito con su cara inferior lisa y colocados en sentido Norte-Sur. El peso de cada uno de estos arquitecillos oscila entre cincuenta y setenta toneladas.

Sobre este techo existen otros cuatro de similares características, aunque el segundo y el quinto lo forman 8 vigas en lugar de 9, todos ellos separados entre sí por espacios vacíos llamados *cámaras de descarga*, a pesar de que los arquitectos no han sabido dar una explicación científica a tan peculiar disposición.

Todo este conjunto de techos planos está rematado por once pares de grandes piedras calizas en forma de gablete o tejadillo que absorben el peso de

los sillares que restan hasta la cumbre y lo descargan hacia los flancos; evitando así que graviten sobre el espacio que ocupa la cámara.

La primera cámara de descarga fue descubierta por Nathaniel Davison en 1765, a partir de un estrecho e irregular conducto que nace en el extremo superior de la Gran Galería, junto a la pared Este. Es prácticamente seguro que este pasaje fue excavado por los propios egipcios durante la construcción de la pirámide para comprobar la gravedad de las fisuras en las vigas. Petrie hace la observación de que una de las grietas fue estucada y solamente alguien que conociera con total exactitud el diseño de los techos podía excavar un túnel en la dirección precisa. Fue a partir de la Cámara de Davison donde el Coronel Howard Vyse, haciendo uso de la pólvora, descubrió los restantes techos y sus correspondientes cámaras intermedias. A cada una de ellas la designó con el nombre de algún personaje ilustre: Wellintong, Almirante Nelson, Lady Ann Arbuthnot y Coronel Campbell, respectivamente en orden ascendente. Vyse halló en las cámaras superiores unos jeroglíficos pintados en color rojo que los egiptólogos ingleses interpretaron como *Khufu y año 17*.

El conjunto de techos alcanza, a partir del piso de la cámara real, una altura de 21,20 m. hasta el vértice inferior del gablete calizo, que se halla desplazado unos centímetros, probablemente debido a un asentamiento de los sillares del núcleo sobre los cuales transmite todo el peso de la mampostería superior.

### **Sarcófago**

Tan compleja, costosa y magnífica estancia sólo contiene una especie de *sarcófago* de duro granito, vacío y roto en una de sus esquinas. No se han encontrado restos de su tapa, si es que algún día la tuvo. Está hecho por vaciado a partir de un solo bloque y hubo, forzosamente, de ser instalado en la cripta antes de proceder al cierre de la misma con las grandes vigas que conforman el techo, puesto que sus dimensiones (2276,978 y 1051 m/m.) son mayores que la zona constreñida del Pasaje Ascendente.

### **Pozo y Gruta**

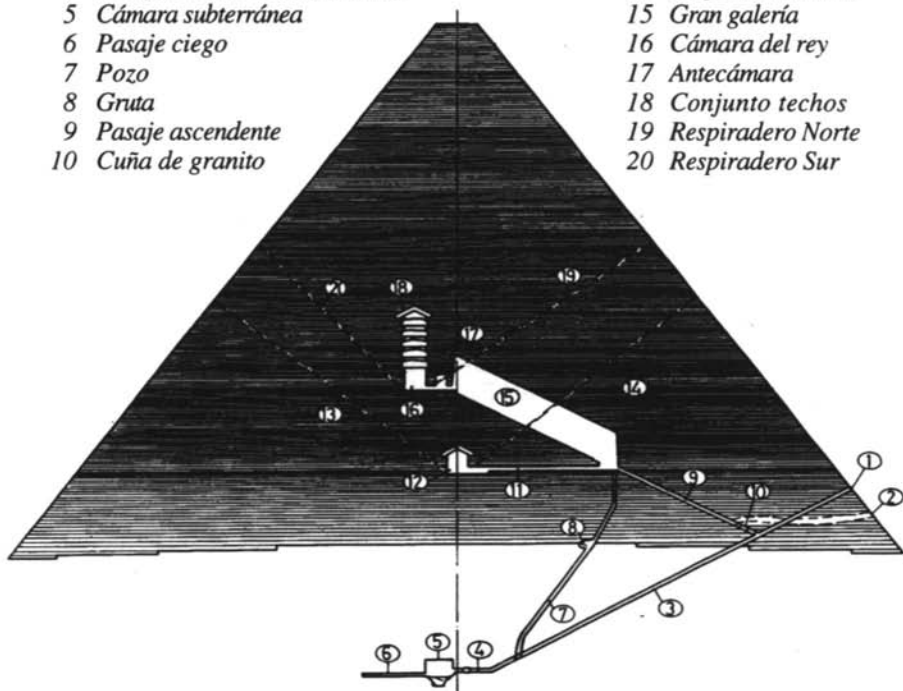
En el inicio de la *Gran Galería*, en la pared Oeste, se halla la entrada a un pozo que desciende atravesando los sillares del núcleo de la pirámide para continuar perforando en la roca viva del subsuelo hasta comunicar con el extremo inferior del *Pasaje Descendente*. Está excavado de forma muy irregular y, a nivel de la roca incorporada a la base de la pirámide, comunica con una gruta (natural?) o ensanchamiento que contiene un misterioso bloque de granito acunado al borde de otra cavidad más profunda.

El primer tramo del pozo, 7,96 m., es totalmente vertical y bien construido por medio de mampostería. A partir de aquí se inclina hacia el sur excavado en los sillares del núcleo. La entrada a la gruta se halla reforzada con sillares bien aparejados. Prosigue descendiendo de forma irregular y excavado en la roca del subsuelo hasta alcanzar el extremo inferior del Pasaje Descendente, formando previamente un codo que rebasa en algo dicho pasaje. La longitud total es de unos 60 m.

El pozo había sido explorado por John Greaves y Nathaniel Davison; no obstante fue el capitán Caviglia quien en 1830, es decir, 200 años más tarde, logró desatascarlo y averiguar donde finalizaba.

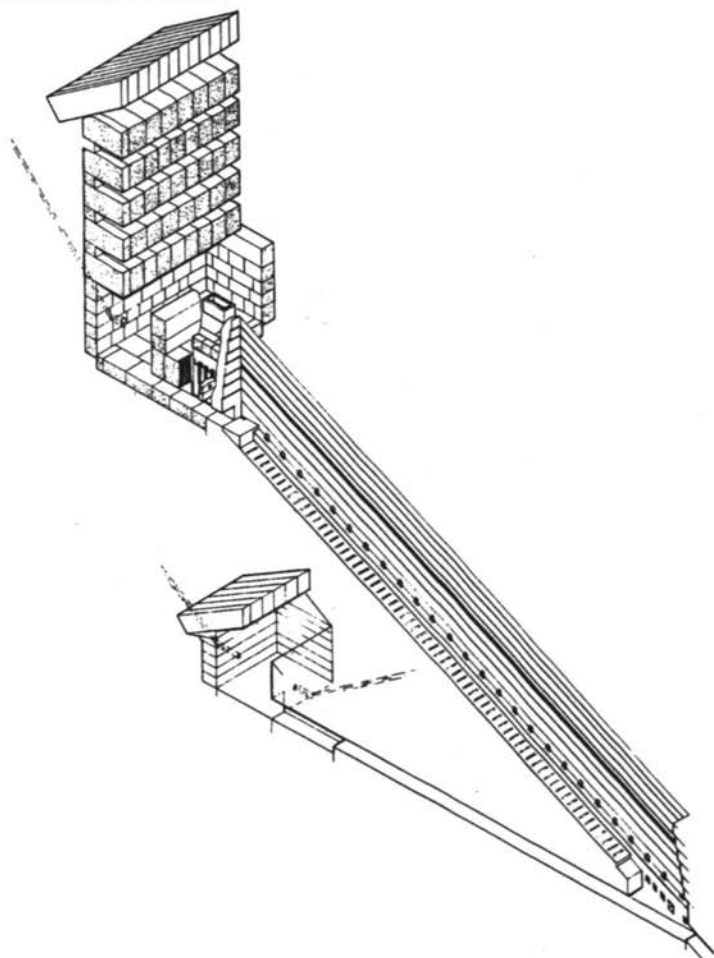
*Vista en alzado y sección de la pirámide de Khéops. Distribución de sus cámaras, pasajes y conductos:*

- |    |                                      |    |                           |
|----|--------------------------------------|----|---------------------------|
| 1  | <i>Entrada verdadera</i>             | 11 | <i>Pasaje de la reina</i> |
| 2  | <i>Pasaje de Al-Mamún</i>            | 12 | <i>Cámara de la reina</i> |
| 3  | <i>Pasaje descendente</i>            | 13 | <i>Respiradero Sur</i>    |
| 4  | <i>Pasaje horizontal subterráneo</i> | 14 | <i>Respiradero Norte</i>  |
| 5  | <i>Cámara subterránea</i>            | 15 | <i>Gran galería</i>       |
| 6  | <i>Pasaje ciego</i>                  | 16 | <i>Cámara del rey</i>     |
| 7  | <i>Pozo</i>                          | 17 | <i>Antecámara</i>         |
| 8  | <i>Gruta</i>                         | 18 | <i>Conjunto techos</i>    |
| 9  | <i>Pasaje ascendente</i>             | 19 | <i>Respiradero Norte</i>  |
| 10 | <i>Cuña de granito</i>               | 20 | <i>Respiradero Sur</i>    |



*Vista en perspectiva y sección de:*

- *La Cámara del Rey con sus cinco techos planos de granito.*
- *El gablete superior de piedra caliza.*
- *Antecámara con las dos losas de granito y ranuras semicirculares en pared Oeste.*
- *Gran Peldaño.*
- *Gran Galería con sus 27 pares de huecos sobre las ménsulas.*
- *Corredor Cámara de la Reina con escalón.*
- *Zona de confluencia de la Gran Galería y el corredor a la Cámara de la Reina.*
- *Cámara de la Reina.*



## 2. Exposición y Análisis de la Teoría Funeraria

La mayoría de investigadores y arqueólogos, Petrie, Borchardt, Edwards, Grinsell, Vandier, Goyon, Lauer, Lehner, están de acuerdo en que la función de las pirámides era servir de sepulcro al faraón.

Asignar una función exclusivamente funeraria a todo el conjunto de cámaras interiores de la pirámide de Khéops exige, para justificar la presencia de tres cámaras funerarias, dos cambios de plan sobre el proyecto original.

Las fases de construcción serían las siguientes:

Al tiempo que se edificaba la base de la pirámide, se excavó el Pasaje Descendente y la Cámara Subterránea; con el propósito de que fuera ésta la depositaria de los restos mortales del rey. Cuando la fábrica había alcanzado el nivel que corta el Pasaje Ascendente en su mitad, zona a partir de la cual los sillares que forman este pasaje adoptan diferente posición, se decidió construir una nueva cámara dentro del núcleo de mampostería: la Cámara de la Reina. Se interrumpieron los trabajos subterráneos y dejaron la cámara en el estado actual<sup>1</sup>.

Posteriormente, cuando todavía no habían terminado el suelo de esta nueva estancia y los respiraderos estaban en su fase inicial, decidieron que el sepulcro ocupara un nivel más alto dentro de la obra: la Cámara del Rey. Es por ello que construyeron la Gran Galería.

A la muerte del faraón, de acuerdo con la teoría funeraria, la comitiva fúnebre hubo de penetrar en la pirámide por la entrada de la cara Norte, bajar por el estrecho Pasaje Descendente hasta alcanzar la confluencia con el Pasaje Ascendente. Subir por este conducto hasta alcanzar la Gran Galería. Aquí pudieron erguirse pero la pendiente seguía siendo la misma. Después de sortear los bloques obstructores, dispuestos para el sellado de la pirámide, hubieron de salvar la altura del Gran Peldaño y previa genuflexión, accedieron a la Antecámara. Una vez más tuvieron que inclinarse antes de penetrar en la estancia destinada a ser el sepulcro del monarca más poderoso de su tiempo: la Cámara del Rey, en cuyo sobrio sarcófago depositaron el cadáver momificado.

Finalizada la ceremonia, los sacerdotes, sellaron la cámara desprendiendo los tres rastrillos de piedra encajados en las ranuras laterales de la Antecámara<sup>2</sup>.

Acto seguido hicieron que los tres grandes bloques de granito se deslizaran libremente sobre el piso de la Gran Galería; cruzaran el puente sobre la zona de confluencia con el corredor llano que conduce a la Cámara de la Reina, y



penetraran velozmente en el Pasaje Ascendente hasta topar contra la estrechez del extremo inferior, hecha a propósito para retener la cuña obstructora y bloquear el paso a las cámaras superiores.

Por último, los sacerdotes, bajarían por el tortuoso Pozo hasta dar con el Pasaje Descendente, que les conduciría al exterior.

### *Objeciones*

#### *Respecto a la construcción:*

- Dos cambios de plan sobre el proyecto original implica improvisación en una obra destinada a mantener ocupado a todo el pueblo egipcio durante tres décadas. Resulta difícil de creer que de tal improvisación pudiera resultar una obra tan perfecta.

- La existencia de unas excavaciones subterráneas a 87,5 m. al Este de la Gran Pirámide, en las cuales se observa el mismo diseño de pasajes que en la pirámide, demuestra que no hubo tal improvisación<sup>3</sup>.

- Tal como señalan los arquitectos Maragioglio y Rinaldi, en contra de la opinión de Borchardt, la presencia de unas piedras a modo de cinturones o amarres a la distancia de 10 codos en el Pasaje Ascendente y el mejor acabado de los bloques en esta zona, respecto a los sillares que forman el núcleo de la pirámide, demuestran que se concibió así desde un principio<sup>4</sup>.

- El diseño de los pasajes y cámaras no se corresponde, desde un punto de vista funcional y lógico, con el que debería tener en base a una finalidad funeraria.

- La Cámara de la Reina no dispone de sistema de sellado.

- Resulta inexplicable e insólita la presencia de respiraderos en la Cámara de la Reina y en la Cámara del Rey; aun más tratándose de una tumba. Ninguna otra pirámide dispone de estos conductos.

- El sarcófago no dispone de tapa y no se han hallado restos de la misma. Carece de inscripción alguna y no recibió el pulido final; es más, se pueden observar en él señales ocasionadas por el desvío de la sierra durante el proceso de corte.

#### *Respecto al sepelio:*

- El acceso al Pasaje Ascendente a partir del Descendente, sería muy dificultoso para la comitiva fúnebre con los restos mortales del faraón.

- El Pozo no podía constituir la ruta de escape dado que se encontró embozado hasta una altura cercana a la Gruta, según testimonio de J. Greaves, N. Davison y el capitán Caviglia.

- Es imposible taponar el Pozo hasta este nivel procediendo desde la parte inferior del mismo.

*Respecto al sellado de la Cámara del Rey:*

- No se han encontrado restos de los tres rastrillos de piedra.

- El piso de la Antecámara no dispone de los necesarios rebajes para que encajen en ellos las piedras de cierre, como es el caso de la pirámide de Khefrén. Es decir, que el diseño no se corresponde con este sistema de cierre; es más, los rebajes se hallan en las paredes laterales, como prolongación de las canaladuras.

- El falso dintel de la Antecámara, compuesto por una piedra fija y otra superior desplazable, tampoco se ajusta a la función atribuida, que es la de sujetar las cuerdas que impedirían el descenso de los rastrillos.

- Únicamente la pared Este de la Antecámara dispone de rebajes semicirculares para albergar los rodillos de madera que deberían facilitar el descenso de los rastrillos.

- Este sistema de cierre resulta ineficaz. La ausencia de rebajes en el piso y la escasa altura de los rastrillos permitiría su desplazamiento con ayuda de palancas.

- Las piedras serían accesibles en su parte superior, lo que haría muy fácil su esculpido. Maragioglio y Rinaldi intentan salvar este sistema de cierre rellenando la zona superior de los rastrillos por medio de sillares; no obstante, nada impediría que éstos fueran desalojados<sup>5</sup>.

*Respecto al sellado de la pirámide:*

- La ubicación provisional de los bloques obstructores antes de cerrar la pirámide constituye uno de los escollos más importantes para las teorías que atribuyen una finalidad funeraria a las cámaras interiores. Los bloques no podían ocupar el Pasaje Ascendente dado que obstruirían el paso y acceso a las cámaras. Tampoco en la confluencia de los tres pasajes, puesto que ocuparían toda esta zona y, por consiguiente, impedirían la entrada por el Pasaje Ascendente. Petrie ha demostrado la imposibilidad de que los bloques fueran

introducidos en el corredor de la Cámara de la Reina, puesto que la altura del pasaje es cerca de 3 cm. inferior a la altura de los bloques. Únicamente la Gran Galería podía albergar la cuña obstructora; pero, suponiendo que así fuera, surge el dilema de decidir que parte de la misma era la depositaria. Petrie y Goyon proponen que estarían emplazados sobre el piso de la galería, encajados entre las ménsulas<sup>6</sup>. No obstante, semejante disposición constituiría un serio e irreverente obstáculo para la comitiva fúnebre. Borchardt propone que los bloques obstructores estarían depositados sobre una plataforma de madera emplazada a media altura de la galería. Concretamente a nivel de la canaladura que recorre ambas paredes por encima del tercer salidizo y sustentada por postes encajados en los huecos de las ménsulas. El peligro que representaría transitar con el cuerpo del faraón por debajo de bloques de casi 6.000 kg., suspendidos sobre una frágil estructura de madera parece ilógico. A esto hay que añadir la dificultad que entrañaría apeaar los bloques sobre el piso en pendiente de la galería, desde esta altura, disponiendo de tan poco espacio y todo ello sin causar daños irreparables.

- La función funeraria no da respuesta a la función y diseño de los huecos sobre las ménsulas. Si la finalidad de estas cavidades era la de retener o sostener la cuña obstructora, no se comprende que necesidad hay de que dichos huecos se hallen presentes a lo largo de toda la galería. Tampoco el porqué presentan dos clases de longitud en disposición alternada.

- El desprendimiento libre e incontrolado de los bloques obstructores hubiera ocasionado la rotura de la estrechez destinada a retener el primer bloque.

- El sistema de control de los bloques propuesto por Goyon (un hombre provisto de una palanca situado por delante del tren de bloques) resulta inverosímil.

#### *Sobre su violación y saqueo:*

- Si las cámaras eran funerarias, tuvieron que ser violadas antes de la dominación árabe dado que los hombres de Al-Mamún, que penetraron en la pirámide excavando en los sillares, encontraron las cámaras totalmente vacías y el sarcófago sin tapa.

- Si el relato de los historiadores árabes es cierto, la única ruta posible para los saqueadores era el conducto del Pozo; pero este se encontró obstruido y es imposible, tal como ya se ha dicho, hacerlo desde la parte inferior. Resulta además innecesaria su oclusión tratándose de un saqueo.

- El laborioso y seguro sistema de cierre por medio de la cuña de granito sería inútil si existiera la posibilidad de acceder fácilmente a las cámaras a través del pozo.

- Por otra parte es increíble que ladrones pudieran excavar 60 m. de conducto en sentido ascendente y remotamente improbable que encontraran la Gran Galería.

### 3. Análisis de las Teorías Constructivas

El único testimonio relativamente antiguo (450 a.d.C.) sobre la construcción de la Gran Pirámide se debe al viajero e historiador griego Herodoto<sup>7</sup>. En su segundo libro, de los nueve en que fue dividida su historia, nos transmite la versión que le dieron los sacerdotes egipcios respecto del método utilizado.

Quéope, según relato de Herodoto, empleó a 100.000 hombres que se turnaban cada tres meses y ello a lo largo de 30 años. Solamente en la construcción de una calzada para llevar las piedras al pie de la pirámide ocupó a su pueblo durante 10 años. Este camino de piedra medía cinco estadios de longitud, diez orgías de ancho y ocho en su parte más alta. Para conseguir elevar y situar los sillares en el nivel correspondiente de la obra, dice que se valieron de ciertas máquinas hechas de maderos cortos; una en cada grada o también una sola máquina que, siendo fácilmente transportable, la irían mudando sobre cada nueva hilada a medida que la pirámide crecía. En cuanto al recubrimiento de piedra caliza de sus cuatro fachadas, afirma haber entendido que su colocación se llevó a cabo en sentido descendente a partir del vértice o cumbre.

Dado que resulta difícil concebir una máquina capaz de izar 2.300.000 bloques de piedra con un peso no inferior a los 2.000 kg. -la mayoría por encima de esta magnitud y algunos de hasta 70.000 kgs.-, el testimonio de Herodoto se ha convertido en un reto a la capacidad inventiva de los investigadores. Si a la dificultad técnica se añade la temporal, puesto que el procedimiento exige colocar más de 315 bloques por día o un sillar cada 2 minutos, el relato se hace increíble.

#### *Teoría de los recubrimientos*

Este sistema constructivo se debe al arqueólogo alemán Richard Lepsius<sup>8</sup>. Propone añadidos sucesivos de sillares alrededor de un núcleo en forma de obelisco. Se forma así una pequeña pirámide que se irá agrandando, con nuevos recubrimientos, en función de la duración del reinado del faraón.

Está inspirada en la evolución de la pirámide escalonada de Saqqara y Meidum.

La teoría fue defendida por el arquitecto Auguste Choisy<sup>9</sup>. A Borchardt le parece factible este sistema para la construcción de la pirámide de Khéops.

### *Objeciones*

- La mayoría de investigadores y arqueólogos están en desacuerdo con esta teoría: Petrie, Maragioglio y Rinaldi, Goyon, etc.

- Si bien la pirámide de Zoser en Saqqara y la de Huni-Esnefru en Meidum fueron modificadas y agrandadas, este proceder no formaba parte de un sistema constructivo, sino que fueron cambios de plan sobre un proyecto original.

- La teoría está en desacuerdo con la realidad histórica. El reinado más largo que se conoce corresponde a Pepi II, que se prolongó durante 95 años; no obstante, su pirámide sólo medía 52 m. de altura.

- No podría construirse el templo adosado a la fachada hasta la muerte del faraón; así pues, la finalización de la obra dependería siempre de la voluntad de su sucesor. Este condicionante sería inadmisibles.

- Obliga a colocar el revestimiento en sentido descendente, apoyado sobre la mampostería del núcleo.

- No aporta solución alguna al problema de como conseguir ascender los sillares sobre las gradas, principal objeto del presente estudio.

### *Máquinas elevadoras*

Inspiradas en el testimonio de Herodoto, pretenden conseguir ascender los sillares, a partir de la base, aprovechando las gradas del propio núcleo de mampostería que a su vez van construyendo. En general todos estos ingenios mecánicos son lentos e inseguros y precisan que el revestimiento sea colocado en sentido descendente a partir del vértice. Si bien por medio de estas máquinas se podría construir algún tipo de pirámide pequeña, formada con sillares de medianas dimensiones, resulta evidente su inviabilidad en la edificación de la Gran Pirámide de Gizhe dada su altura y sobre todo a causa de la presencia de las grandes piedras que conforman la Cámara del Rey.

### *Maquina de Legrain y Choisy*

Inspirada en pequeños modelos encontrados en tumbas de la época del Imperio Nuevo. Fue Legrain quien asignó una función constructiva a estos aparatos.

Se compone de dos segmentos de círculo unidos por eslabones cilíndricos de madera, a modo de balancín. Sobre él se coloca el sillar y, por medio de un largo brazo se imprime un movimiento basculante. Se aprovecha la propia inercia del aparato para ir introduciendo calces de madera en su base y conseguir su paulatina ascensión hasta alcanzar el nivel de colocación.

El sistema es defendido y estudiado por Auguste Choisy<sup>10</sup>. El propio autor reconoce que la superficie de los escalones en la pirámide son insuficientes para su emplazamiento y que la estabilidad disminuye a medida que se eleva, siendo su límite 5 pies.

### *Objeciones*

- Sistema inestable, lento y peligroso.
- Los escalones de la pirámide no proporcionan el suficiente espacio para emplazar los aparatos.
- Los sillares que forman las gradas se deteriorarían por su continuo uso.
- Dada su lentitud, se precisarían miles de aparatos trabajando a la vez y a diferentes niveles de la obra, con evidente riesgo de graves accidentes.
- A medida que se asciende, la superficie de trabajo se reduce y por tanto es imposible ganar tiempo por el recurso de utilizar muchos aparatos de forma simultánea.
- Es prácticamente imposible colocar el revestimiento ni siquiera en sentido descendente.
- Es inverosímil que por este medio se puedan izar las grandes piedras que conforman los techos de la Cámara del Rey.

### *Máquina de Louis Croon*

Este ingeniero alemán, contrario al empleo de rampas perpendiculares dado el enorme trabajo que estos terraplenes representan, propone el uso de máquinas elevadoras; no obstante disiente de la viabilidad del elevador oscilante de Choisy a causa de su lentitud y de la gran cantidad de unidades que se precisan<sup>11</sup>.

Su máquina se basa en el antiguo *Chaduf* egipcio para elevar agua.

Consta de un montante y un brazo horizontal con un punto de aplicación desplazado a fin de obtener un efecto de palanca. El montante, a modo de trípode, se apoya sobre las gradas de mampostería. La piedra se halla sujeta en el extremo más corto o más cercano al punto de aplicación. Varios operarios tiran de cuerdas que penden del brazo más largo, consiguiendo alzar el sillar y depositarlo sobre la terraza en construcción. Esta operación deberá repetirse de grada en grada.

La teoría de L. Croon figura en muchas obras de divulgación, dando así por supuesto que se trata de un método aceptado o probado. El arquitecto francés J. Philippe Lauer se muestra en total desacuerdo<sup>12</sup>. También Georges Goyon es contrario a este procedimiento<sup>13</sup>.

### ***Objeciones***

Las inconvenientes de este sistema constructivo son, en mayor o menor gravedad, los mismos que se han descrito al analizar el ascensor oscilante de Choisy.

### ***Máquina de Hermann Strub-Roessler***

Este investigador desestima la rampa perpendicular como medio de elevación. Propone un sistema formado por poleas y cabrestantes suspendidos de un travesaño horizontal que a su vez es soportado por dos montantes de 8 m. de altura abatibles y controlados por medio de largas cuerdas<sup>14</sup>.

Sistema rechazado igualmente por Lauer y Goyon.

### ***Objeciones***

A los inconvenientes de los anteriores sistemas hay que añadir en este caso que, para poder encajar las piedras del revestimiento, el autor se ve obligado a dotarlas de un perfil flechado que es insólito en la construcción egipcia.

### ***Peter Hodges***

Para alzar las piedras sobre las hiladas recurre al uso de palancas y calces de madera hasta alcanzar el nivel de colocación<sup>15</sup>. Hodges, para soslayar el grave inconveniente que representa colocar el revestimiento en sentido descendente, opta porque las piedras del recubrimiento sean izadas exactamente

de la misma manera y con el mismo perfil que las del núcleo, es decir, sin biselar. Una vez se ha construido esta pirámide escalonada se inicia la operación de corte de todas las piedras del revestimiento, empezando por el vértice.

Existe una obra de divulgación muy ilustrada y anterior a la de P. Hodges, de David Macaulay, donde se describe este procedimiento de corte y acabado de fachadas<sup>16</sup>.

### ***Objeciones***

En lo que se refiere a la forma de alzar los sillares se advierten los mismos inconvenientes de los anteriores sistemas, agravando el de la insuficiencia de espacio. El propio autor señala la necesidad de que cuatro hombres provistos de largas pértigas ocupen la misma grada del sillar a elevar.

En cuanto a la colocación del revestimiento hay que objetar lo siguiente:

- La cantidad de material que es necesario esculpir es inmenso y resulta imposible ganar tiempo, puesto que no puede haber picapedreros por debajo de los que están trabajando en los niveles superiores.
- El desperdicio de material y por tanto de trabajo es enorme.
- Es imposible que de tal práctica resultaran fachadas tan perfectas como atestiguan los viajeros e historiadores de la antigüedad.
- Cualquier error o accidente en el esculpido sería irreparable.

### ***Los planos inclinados***

La mayoría de investigadores, Petrie, Borchardt, Hölcher, Wheeler, Lauer, Goyon, coinciden en que el medio utilizado en la construcción de las pirámides fue el plano inclinado o rampa. Se han encontrado restos o indicios de estos viaductos o calzadas, en Meidum, Dahshur, Gizeh y cerca de altos monumentos, como el templo de Karnak. Prácticamente está demostrado que fue un recurso del que se valieron los antiguos egipcios en diferentes épocas de su larga historia.

Los problemas surgen cuando este método se quiere aplicar a la construcción de edificios que sobrepasan los 200 codos de altura; en mayor grado, pues, cuando consideramos su utilización en la pirámide de Khéops, que alcanza los 280 codos.



La necesidad de mantener el mismo grado de pendiente obliga a alargar el plano y ensanchar la base del talud a medida que se accede a niveles más altos. Consecuentemente, el volumen de terraplén que se genera es inmenso y su longitud impracticable.

Respecto a la pirámide de Khéops, los arqueólogos están de acuerdo en que solamente sobre la cara Sur podía construirse una larga rampa. Al Norte el terreno desciende de forma abrupta. Además, un terraplén en esta parte impediría el acceso a las cámaras interiores. Tanto el lado Este como el Oeste son zonas de mastabas o tumbas; es más, a poniente el viaducto se alejaría de las canteras del Sur así como del Nilo, por donde llegaba la caliza de Tura y el granito de Asuán. Una larga rampa sobre la fachada Este tendría que salvar los 40 m. de desnivel del valle además de la altura propia de la pirámide. También atrasaría la construcción del templo y, por la pirámide de Micerino, se sabe que este anexo se edificaba al mismo tiempo que la propia pirámide.

Asignando a la rampa una pendiente del orden de 1 a 10 (excesiva aun tratándose de piedras de medianas dimensiones dada la larga distancia) el plano se distanciaría unos 1450 metros del centro de la pirámide y, aunque se edificara sobre la fachada Sur, sobrepasaría en más de 500 m. a las canteras de Wadi, de donde se extraía la mayor parte de caliza fósil que conforma el núcleo. El volumen de la rampa sería 3,3 veces superior al de la propia pirámide.

Para soslayar estos inconvenientes que presentan las rampas de Petrie y Borchardt, se han propuesto otros modelos:

### *Uvo Hölscher*

Consiste en una rampa formada de varios planos inclinados dispuestos de forma paralela a una de las fachadas y que asciende apoyada sobre las gradas de la pirámide dando giros de 180°, es decir, de derecha a izquierda y viceversa<sup>17</sup>.

### *Objeciones*

- Puesto que las dimensiones de la fachada disminuyen a medida que nos aproximamos al vértice, el plano inclinado deberá aumentar progresivamente su grado de pendiente, lo cual impide que se puedan ascender grandes sillares.

- En la pirámide de Khéops resultaría imposible elevar las grandes piedras que conforman la Gran Galería y Cámara del Rey.

- No resuelve el problema de la colocación del revestimiento.

- Los terraplenes son estrechos y no permiten el paso simultáneo de varios trineos.
- Es imposible que los trineos cargados puedan invertir el sentido de marcha en cada extremo del plano.

### *N.F. Wheeler y Georges Goyon*

Estos autores son partidarios de una rampa envolvente que asciende rodeando la pirámide. Soluciona el problemático distanciamiento de la rampa de la base de la pirámide y no precisa rehacer el plano cada vez que se accede a un nuevo nivel. También permite colocar el revestimiento al mismo tiempo que el núcleo<sup>18 y 19</sup>.

### *Objeciones*

- Debido a la disminución de la longitud de los lados de la pirámide a medida que se asciende, la rampa envolvente deberá (a cada giro) incrementar su pendiente. En caso contrario, los terraplenes superiores invaden a los inferiores.
- Para evitar dichos inconvenientes, la rampa deberá ser muy ancha al principio y distanciarse de la base de la pirámide. Aun así, parte del terraplén se apoya sobre el inferior con evidente riesgo de deslizamiento.
- A pesar de que Goyon asigna al plano una pendiente muy leve (5,6%) los terraplenes miden hasta 20 m. de altura, con taludes casi verticales que los hacen inestables.
- Los terraplenes no permiten controlar la forma de la pirámide durante la construcción.
- Es prácticamente imposible que cientos de hombres puedan maniobrar en las esquinas durante el acarreo y ascenso de los grandes bloques de granito.

### *Jean Philippe Lauer*

Este arquitecto francés, que desde 1926 ha dedicado su vida a la reconstrucción del complejo monumental de Saqqara y al estudio de la arquitectura egipcia, afirma que la rampa perpendicular es el único método posible en la edificación de las pirámides.

Propone una rampa sobre la cara Sur que aumenta su grado de pendiente a medida que se acerca al vértice. El plano inclinado empieza con un desnivel

equivalente a 1/14 para la colocación de las hiladas inferiores y finaliza con 1 parte por cada 2 en la cumbre. Se argumenta que el recurso es factible dado que los sillares son menores en los niveles altos.

Aprovecha el propio núcleo de la pirámide como prolongación del plano. De esta forma evita el excesivo distanciamiento la rampa y limita su volumen a 1.560.000 metros cúbicos<sup>20</sup>.

### **Objeciones**

Es una rampa muy estudiada para soslayar los graves inconvenientes que ya se han expuesto. No obstante y a pesar del ingenio desplegado por el autor, éstos siguen latentes aunque mitigados. En general podríamos decir que se trata de una rampa *forzada*, que utiliza diferentes recursos según las fases de construcción. Es difícil de predecir la magnitud de los inconvenientes que surgirían de llevarla a la práctica.

- Crearía distorsión en el trabajo al variar la pendiente y utilizar el interior de la pirámide como prolongación del plano.

- Ascender sillares a una altura de 146,5 m. con un distanciamiento de 415 m. equivale a alzar 0,35 metros por cada metro. Según Goyon, en base a estudios modernos de ingeniería, no es factible sobrepasar 0,056 metros por metro.

- Dada la excesiva pendiente, el propio autor señala la conveniencia de utilizar contrapesos de arena durante el ascenso de los grandes bloques de granito y de recurrir a las rampas envolventes a partir de los 133 m. de altura, o bien contrapesos sobre la cara Norte.

- Precisa construir muros de adobe sobre el plano para anclar los postes de amarre de las cuerdas que controlan el deslizamiento de los contrapesos. Operación que retrasaría en gran medida la construcción de la fábrica.

## **4. Nueva Teoría sobre su construcción**

El método constructivo que propongo es el siguiente:

Se utilizó el recurso de rampa o plano inclinado hasta la colocación de las hiladas 60 y 61 de mampostería, que se corresponden con los niveles inmediatos superiores de la *Cámara del Rey*, cuyos sillares rodean, sin llegar a cubrir, a los grandes bloques de granito que forman el primero de los cinco techos de esta magnífica estancia.

La parte superior de la hilada 60 dista de la base de la pirámide 49,77 m.; exactamente 95 *codos* de 0,5239 m. (codo de Newton). Este era el nivel máximo o altura de la rampa por medio de la cual se colocó, además, la hilada 61.

Es decir que lo construido mediante plano inclinado fue una pirámide truncada de 50,44 m. de altura con una superficie en la cara superior de 22.818 m<sup>2</sup> (fig. 1).

A través de esta rampa subieron también las inmensas piedras que forman los cinco techos planos de granito y las de caliza que, en disposición de gablete, coronan el conjunto arquitrabado. Depositadas todas ellas sobre la amplia terraza de la pirámide eran alzadas con palancas y cortos planos inclinados sobre cada nueva hilada hasta alcanzar el nivel de colocación que les correspondía.

El plano inclinado destinado al acarreo y ascenso de los sillares estaría emplazado perpendicularmente (algo desviado al SO a fin de soslayar los desniveles de la meseta) sobre la fachada Sur de la pirámide.

El terraplén, con una pendiente de una parte por cada 18,538, tendría una longitud equivalente a la que Herodoto asigna a la espléndida calzada que costó diez años de trabajo a todo el pueblo egipcio: 5 estadios, unos 924 m. y se apartaría del pie de la pirámide 883,533 m. Esto equivale a un desnivel próximo al 5,4% inclinación muy adecuada para arrastrar las piedras que conforman la cámara real.

Es a partir de la base de la hilada 61, o parte superior de la hilada 60, cuando entra en acción el mecanismo de elevación de sillares por medio de las cámaras interiores. La disposición y funcionamiento del sistema que permitía izar las piedras era el siguiente:

Los tres grandes bloques de granito que forman la cuña obstructora, en el inicio del *Pasaje Ascendente*, estaban situados en el extremo superior de la *Gran Galería*, inmediatamente después del *Gran Peldaño* y montados sobre trineos de madera (fig. 2).

En cuanto se soltaban los anclajes que retenían los trineos, éstos se precipitaban por la pendiente de la galería haciendo de contrapeso (del sillar exterior) y accionaban una larga cadena de transmisión que, a su vez, producía un movimiento de giro a un rodillo emplazado en el interior de la *Cámara del Rey* (fig. 3)<sup>21</sup>. El rodillo de la cámara real engranaba con otro que tenía por

misión rebobinar una gruesa cuerda, de unos 18 cm. de diámetro, que penetraba por el conducto o respiradero de la cara Sur y, después de cruzar el núcleo de mampostería de la pirámide, salía al exterior para unirse al aparato elevador de sillares situado al final de la rampa o zona de llegada de las piedras.

La *Gran Galería* está provista en toda su longitud y en ambas ménsulas de 27 huecos o muescas distribuidas de forma que dejan espacios regulares entre sí<sup>22</sup>. La misión de estas cavidades era la de anclar unos postes de madera que, llegando en altura hasta el segundo saliente de la pared, formaban una estructura capaz de resistir el impacto de los trineos-contrapeso contra los topes de contención distribuidos de forma regular a lo largo de una baranda adosada a la estructura de la galería.

El recorrido necesario para llegar al vértice de la pirámide, a partir de la rampa exterior, es exactamente tres veces la longitud útil o disponible para el desplazamiento de cada trineo en el interior de la galería (fig. 4)<sup>23</sup>.

Esto significa que los trineos se utilizaban por separado y de forma correlativa según el nivel de la obra que se estuviera trabajando. Para la colocación de las primeras hiladas, a partir de la rampa exterior, se empleó únicamente el primer contrapeso; este iba parando cada vez un tope más bajo o lejano a medida que se completaban las terrazas o hiladas. Cuatro hiladas por encima del nivel de salida del respiradero entraba en funcionamiento, además del primero, el segundo contrapeso; pero mientras aquél hacía todo el recorrido de la galería sin sufrir interrupción, éste impactaba cada vez en topes más alejados. Solamente en la colocación de las últimas hiladas intervenía, junto con los otros, el tercer contrapeso, tope a tope.

En el exterior, las piedras ascendían montadas sobre patines y suspendidas de un travesaño que se deslizaba sobre dos barandas de madera. Estas, a modo de rieles, estaban fijadas a cierta altura sobre las gradas de la pirámide y sustentadas por medio de una estructura de madera que iban prolongando por módulos a medida que la obra ganaba altura. El extremo motriz se trasladaba cada vez a una grada superior y el espacio libre dejado por éste se suplementaba con un nuevo tramo de barandas (fig. 5-6).

Después de descargar la piedra sobre la pirámide, había que sustituirla por algo que tirara de los contrapesos de la galería haciéndolos regresar a su nivel de partida; es decir, junto al *Gran Peldaño*.

La ascensión de los trineos-contrapeso se conseguía llenando el espacio, antes ocupado por la piedra, por arena, aunque con un peso superior al de

aquella. Dos hileras de obreros situados sobre gradas a ambos lados de las barandas, formando una doble cadena humana, iban trasladando y ascendiendo pequeños sacos llenos de arena y unidos entre sí por medio de una cuerda. La arena utilizada era siempre la misma. Se descargaba de la plataforma de ascensión al llegar a la parte inferior y se la volvía a izar rápidamente tirando de la maroma al tiempo que otros operarios procedían a cargar y ascender una nueva piedra. De esta forma cuando el sillar era depositado en la terraza para su colocación la arena ya estaba dispuesta para reemplazarlo.

Aproximadamente 1.120.000 bloques o sillares fueron colocados así. Calculo que la pirámide tendría en total, incluyendo el piramidión, 217 hiladas de mampostería que fueron construidas de la siguiente forma:

Las primeras 61 mediante el procedimiento de rampa o plano inclinado, emplazado en el exterior y sobre la cara Sur. Las 156 restantes por medio del mecanismo de las cámaras interiores.

El primer contrapeso se encargaría de izar los sillares de 45 hiladas; en otras palabras, completaría la pirámide hasta el nivel superior de la hilada 106. El segundo contrapeso, junto con el primero, haría las 52 siguientes y la dejaría truncada en la 158. Por último, intervendría el tercer contrapeso, que remataría la pirámide con las 59 hiladas restantes, mucho más pequeñas en su mayoría, a excepción de la última o piramidión (fig. 7).

El volumen total de la pirámide era de 2.591.701,6 m<sup>3</sup>. El volumen de la parte destinada al mecanismo de las cámaras 730.738,28 m<sup>3</sup>.

El circuito que recorría el mecanismo elevador en el interior de la pirámide, ocupaba todas las cámaras y galerías de la misma excepto la subterránea (fig. 8). Su extremo más apartado alcanzaba la confluencia del *Pasaje Ascendente* con el *Pasaje Descendente*, zona ocupada hoy por la cuña de granito obstructora. En este punto había emplazado un tambor que invertía el sentido de la cadena que procedía de la galería<sup>24</sup>. Por ello, el paso a las cámaras de los operarios encargados del funcionamiento del mecanismo no se hacía a través del *Pasaje Ascendente*, sino por medio del subterráneo y el conducto del *Pozo*. Esta era la principal función del irregular *paso del ladrón*, además de proporcionar la necesaria ventilación durante la excavación de la *Cámara Subterránea*.

La zona de confluencia de los tres pasajes (Gran Galería, Pasaje Ascendente y Corredor de la Cámara de la Reina) estaba provista de dos carriles que unían el piso de la galería con el Pasaje Ascendente, de modo que los

trineos pudieran circular sobre ellos hasta topar con la pared Norte de la galería. Este diseño permitía a operarios situarse sobre el primer tramo del corredor llano, tener acceso a la parte inferior de los trineos y efectuar las reparaciones o el correspondiente mantenimiento de los patines<sup>25</sup>.

La cadena procedente del Pasaje Ascendente, antes de regresar al engranaje situado sobre el Gran Peldaño para cerrar el circuito, penetraba en el interior de la Cámara de la Reina, donde había emplazada una gran cabria reductora (fig. 9)<sup>26</sup>, mecanismo muy necesario para disponer de un efectivo control sobre el desplazamiento de los contrapesos.

La cadena era devuelta a la galería por medio del engranaje emplazado en la confluencia de los tres pasajes o zona de mantenimiento.

Puesto que los tres contrapesos habían de intervenir de forma correlativa, era necesario disponer de un mecanismo que accionara el acoplamiento y desacoplamiento de los trineos a la cadena motriz. Las cuerdas de accionado de las mordazas de enganche deberían permanecer siempre en su justa tensión; ésta era la importante misión de la *Antecámara*.

Por este sistema de construcción es posible deducir que el recubrimiento exterior de la pirámide se colocó al mismo tiempo que el núcleo de mampostería y una hilada por delante de éste, a excepción de todo el espacio ocupado por las barandas de ascensión. Esta zona se completó de arriba hacia abajo (tal como los sacerdotes egipcios relataron a Herodoto) al tiempo que iban desmontando todo el armazón del sistema elevador en el exterior.

Cada hilada del revestimiento tuvo que ser colocada sobre la pirámide antes que su homóloga del núcleo. De otra forma hubiera sido imposible conseguir acoplarlas con tanta precisión. Esto permitía trabajar *desde dentro* en la colocación y ajuste milimétrico de las piedras. Se evita tanto la necesidad de disponer de una rampa envolvente como la de situar un plano inclinado en cada una de las cuatro fachadas. Las piedras eran arrastradas sobre la terraza formada por los sillares del núcleo y colocadas formando un reborde perimetral; posteriormente se rellenaba el espacio interior con más sillares. No obstante, para la colocación de las últimas hiladas y el piramidión, hubo de construirse una terraza lateral que permitiera operar desde fuera puesto que la superficie de trabajo se reduce progresivamente a medida que se accede a la cumbre. Es por ello que el eje de las cámaras y el propio respiradero sur se hallan desplazados de la apotema de la pirámide (fig. 10).

Finalizada la obra, los obreros apearon los contrapesos de sus trineos y los depositaron sobre el piso de la galería, sujetos y a punto para su deslizamiento.

Desmontaron toda la maquinaria del sistema y la sacaron a través del *Pasaje Ascendente*.

Desde la *Gruta* obstruyeron el conducto inferior del *Pozo* con la grava y la tierra que, a tal fin, estaba en ella depositada. Esto significa que la ruta de escape de los obreros no fue el conducto del *Pozo*, sino el *Pasaje Ascendente*.

Una vez fuera ya de la pirámide y por medio de un sistema de *control remoto*, soltaron los tres contrapesos, que rápidamente se precipitaron por la pendiente del *Pasaje Ascendente* hasta quedar retenidos e incrustados en la estrechez que presenta este conducto en su inicio, hecha a propósito.

El camino que da acceso a las cámaras quedó así bloqueado hasta que los hombres de Al-Mamún, en el siglo IX de nuestra era, perforaron el túnel en los sillares contiguos a la cuña obstructora y descubrieron la existencia del *Pasaje Ascendente*.

El dispositivo de cierre automático que posibilitó sellar la pirámide desde el exterior sin riesgo de quedar encerrados en su interior y que permitió a los operarios cegar el pozo antes de salir fue el siguiente:

A través de ambos respiraderos introdujeron gruesas cuerdas (servirían las utilizadas en los rodillos de la Antecámara) que venían a unirse en la parte delantera del primer bloque obturador. Allí, en la parte frontal, los extremos de las cuerdas se enlazaban por medio de un nudo *egipcio*, que tiene la particularidad de deshacerse instantáneamente, por mucho que se hayan tensado los extremos, al quitarle el pasador que lleva incorporado y que a su vez resulta muy fácil de desplazar.

Llenaron de sal la zona donde confluye la Gran Galería con el Corredor de la Cámara de la Reina, formando un terraplén que unía sin presentar discontinuidad el piso de la galería con el conducto ascendente. A continuación, cubrieron todo el piso de este pasaje por medio de una fina capa de arena.

Con el mismo producto salino, utilizado en la zona de confluencia, taponaron el extremo constreñido del *Pasaje Ascendente* (fig. 11).



Acto seguido, abandonaron la pirámide por este lugar y a través del *Pasaje Descendente*. Todo estaba a punto para proceder al cierre definitivo de los accesos a las cámaras interiores.

Desde el respiradero Sur se tiró de la cuerda que permanecía unida al pasador del nudo. Aquel resbaló entre los lazos de éste y, al desprenderse, el nudo se deshizo.

Los bloques se precipitaron velozmente por la pendiente de la galería; cruzaron el puente de sal y penetraron en el *Pasaje Ascendente*. La arena depositada facilitaba el libre deslizamiento. El tapón de sal se comprimió de tal forma que fue capaz de retener el tren de bloques.

Solo restaba disolver la sal del tapón para que la cuña obstructora descendiera lentamente en busca de la zona constreñida y poder quedar encastrada en ella sin producir su rotura.

El agua necesaria para conseguir la disolución salina se aportó desde el exterior y a través del respiradero Sur de la *Cámara del Rey*.

La colocación de una piedra a modo de tapón en cada una de las salidas exteriores de los respiraderos fue la última operación antes de deshacer la larga rampa de piedra y adobe que permitió construir las primeras sesenta y una hiladas.

Calculo que unos 400 obreros serían suficientes para atender a todas las fases de este sistema de ascensión de sillares.

## 5. Figuras

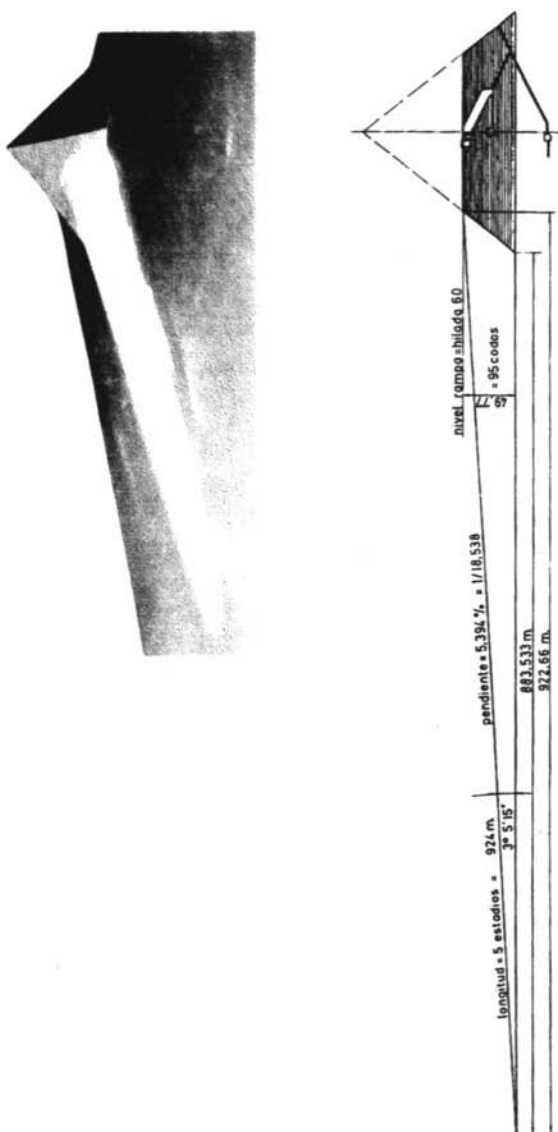


Figura 1. Longitud y altura de la rampa adosada a la cara Sur de la pirámide.

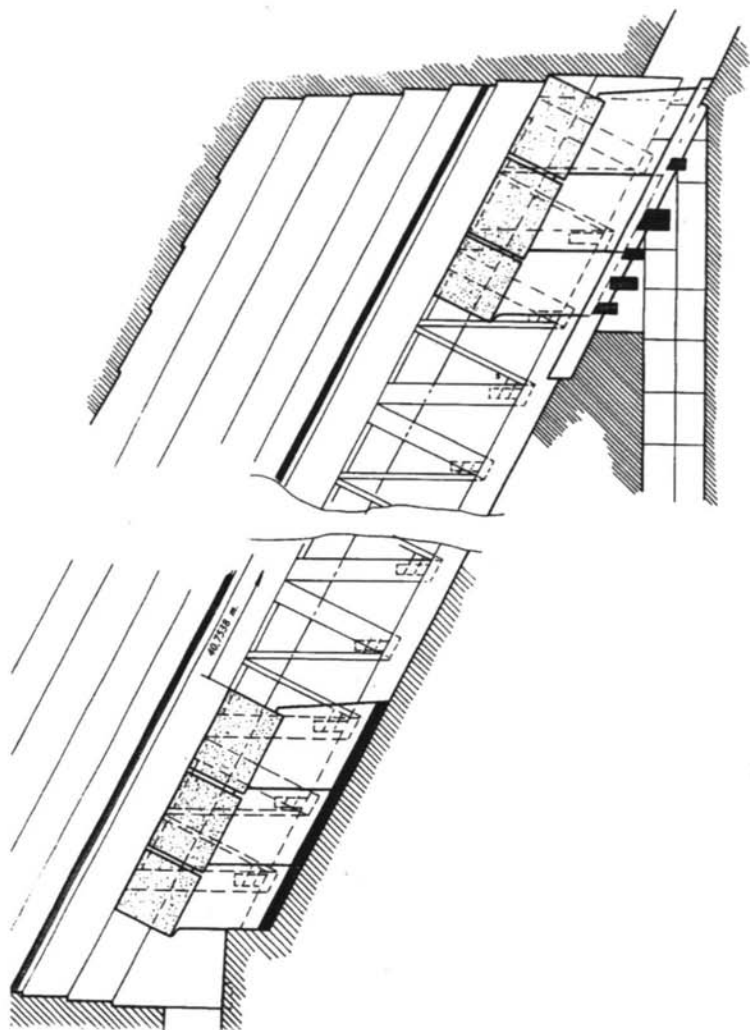


Figura 2.

- *Trineos-contrapeso* emplazados junto al Gran Peldaño, o zona de partida.
- Posición de la arista más avanzada del primer bloque, respecto al tercer poste.
- Distancia del primer bloque a la pared Norte o límite de recorrido.
- Posición de los trineos en el extremo inferior de la Gran Galería.

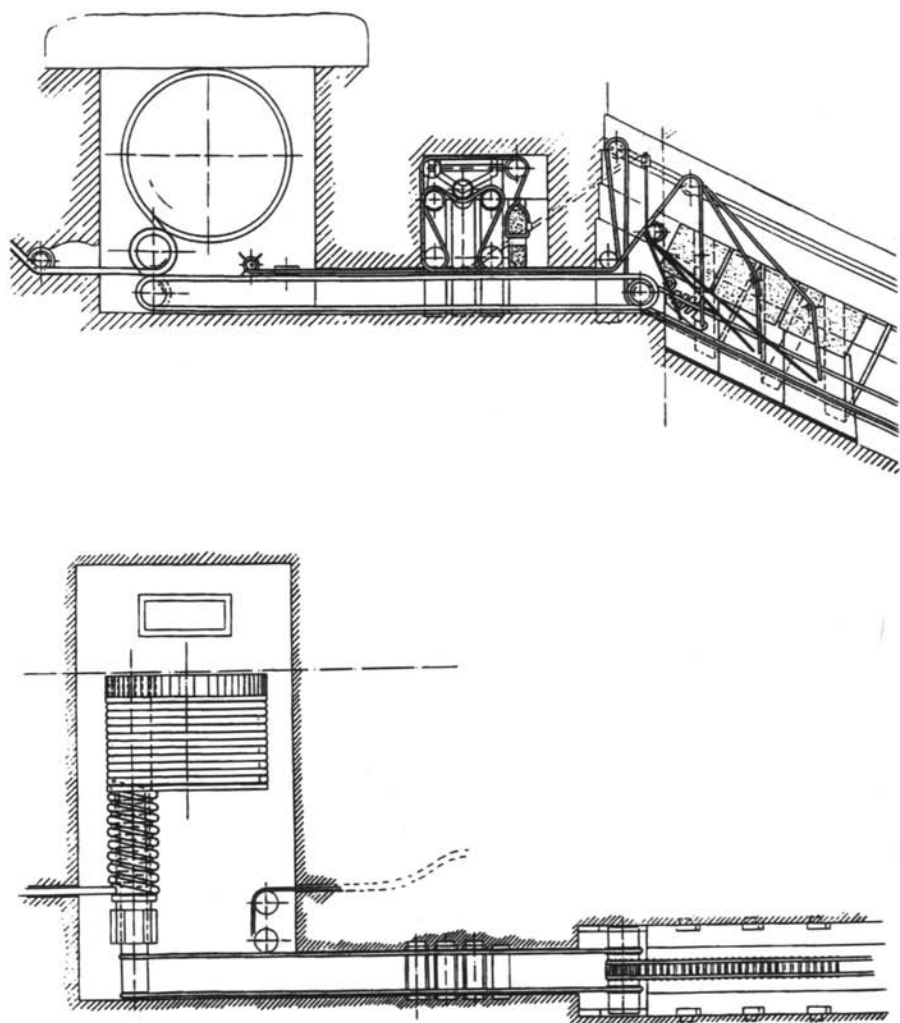


Figura 3. Vista en alzado y planta de la Cámara del Rey, Antecámara y Gran Escalón con trineos-contrapeso.

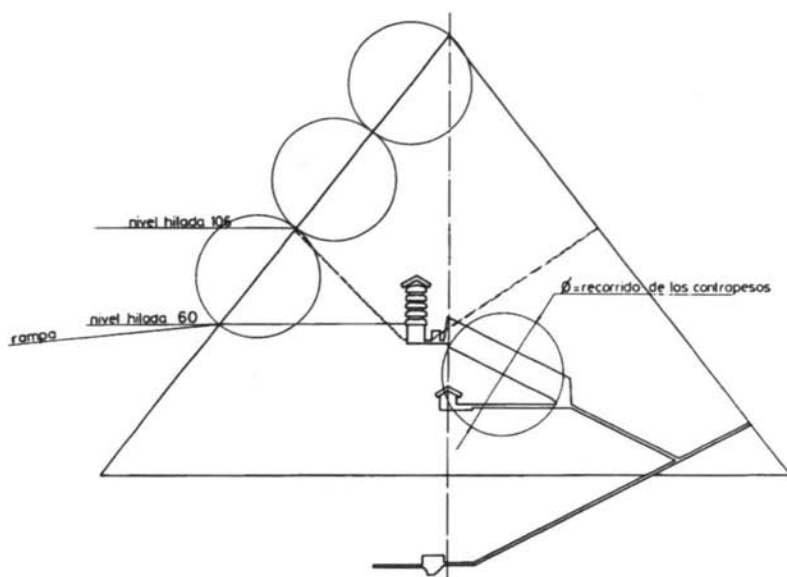


Figura 4. Acceso a la cumbre de la pirámide en función de la longitud disponible en la galería.

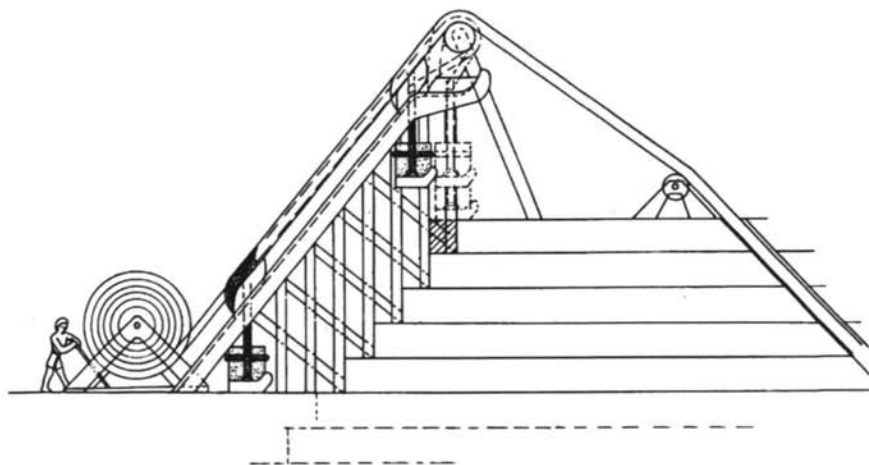


Figura 5. Elevador exterior antes de alcanzar el nivel de salida del respiradero Sur.

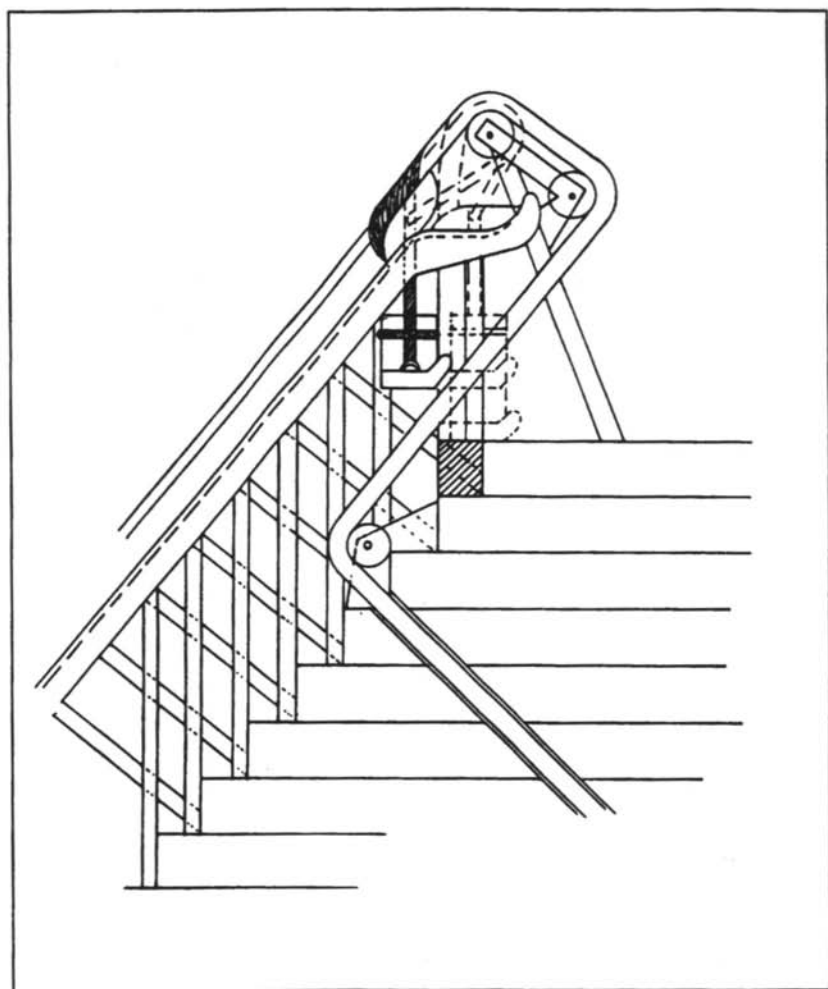
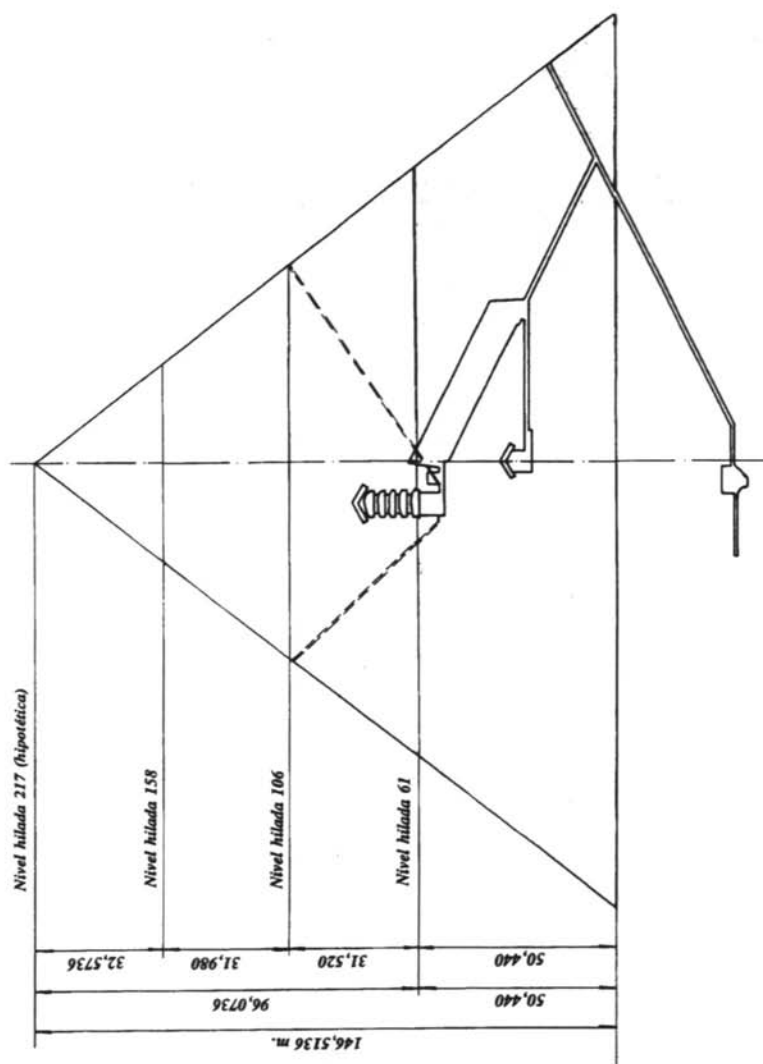


Figura 6. Elevador exterior a partir del nivel de salida del respiradero Sur.



Nivel 158-vértice	28.480,476 m <sup>3</sup>	Por medio de los tres contrapesos.
Nivel 106-158	193.191,59 m <sup>3</sup>	Por medio de los dos primeros contrap.
Nivel 61-106	509.066,16 m <sup>3</sup>	Por medio del primer contrapeso.
Nivel 0-61	1.860.963,3 m <sup>3</sup>	Por medio de rampa.

Figura 7. Niveles de construcción.

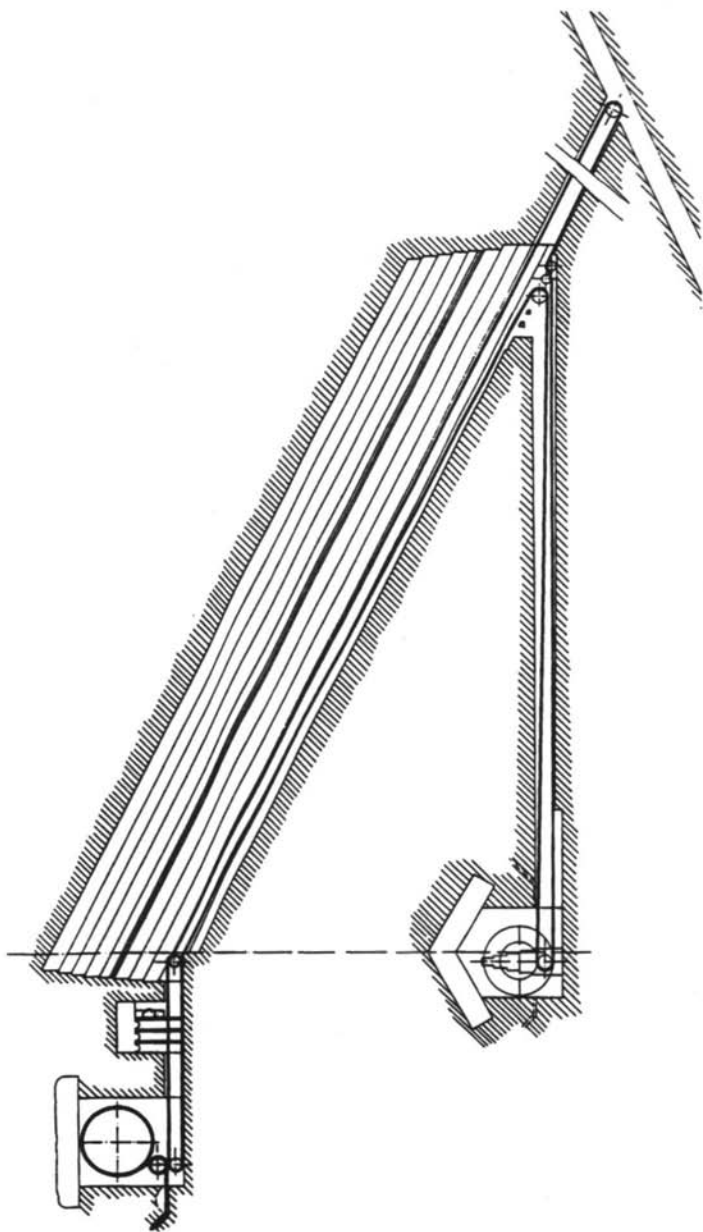


Figura 8. Circuito del mecanismo de las cámaras interiores.



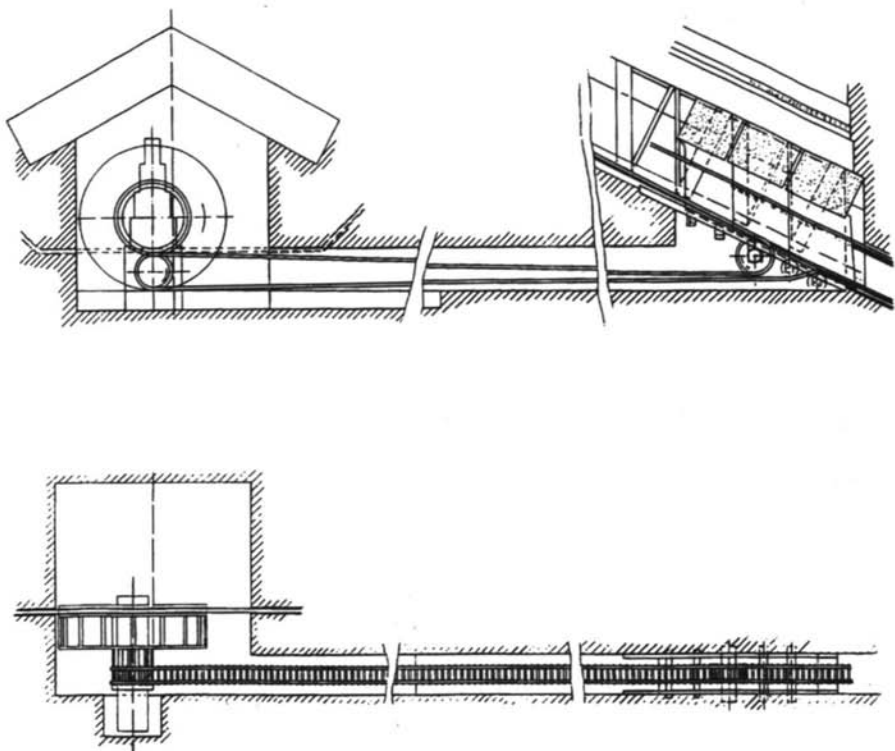


Figura 9. Vista en alzado y planta de la Cámara de la Reina, corredor con escalón y trineos-contrapeso emplazados en zona de mantenimiento.

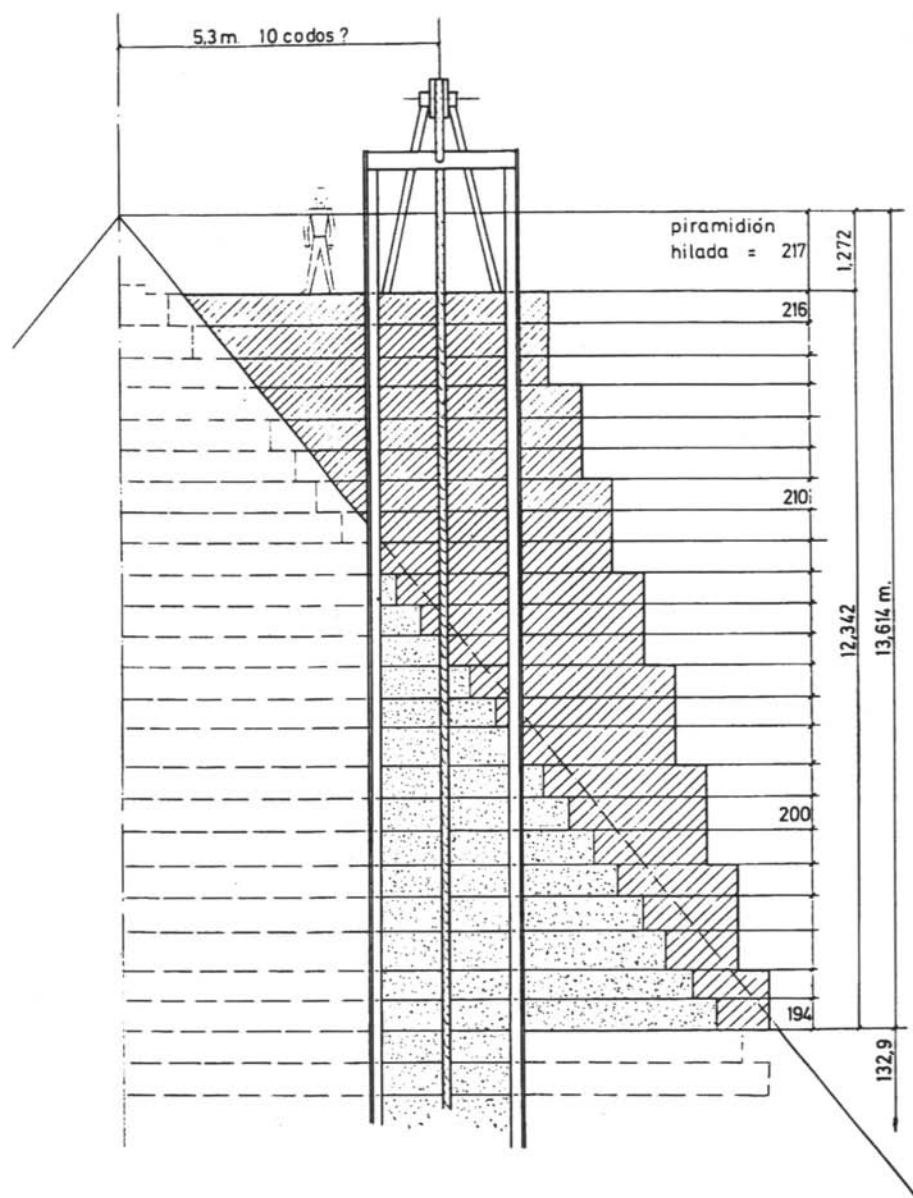


Figura 10. Terraza auxiliar adosada sobre la fachada Este.

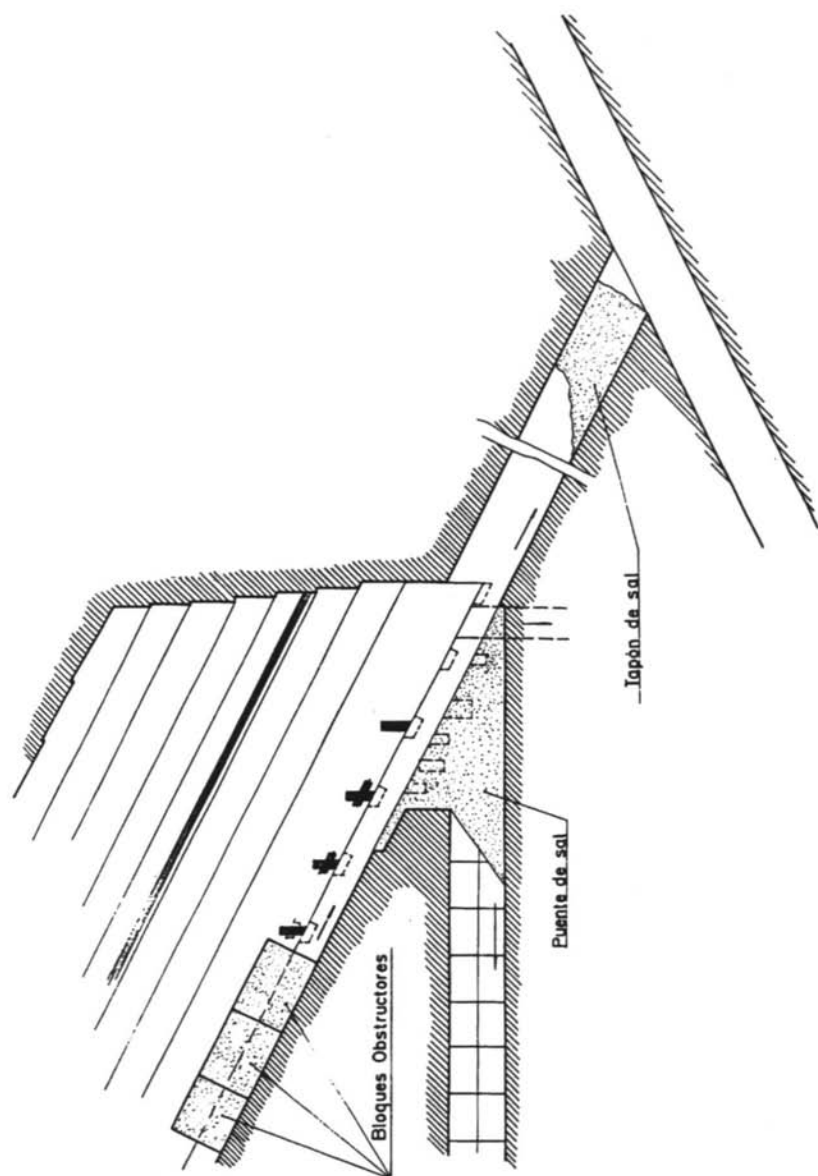


Figura 11. Método utilizado en la obstrucción del Pasaje Ascendente.

## NOTAS

- 1 BORCHARDT, Ludwing (1922) *Gegen die Zahlenmystik an der grossen Pyramide bei Gise*. Berlin, p.16.
- 2 BORCHARDT, Ludwing (1932) *Einiges zur Dritten Bar periode der Grossen Pyramide*. Berlin, J. Springer.
- 3 FLINDERS PETRIE, W.M. (1990) *The Pyramids and Temples of Gizeh*. Zahi Hawass, Histories & Mysteries of Man Ltd. London, p.15
- MARAGIOGLIO, Vito y RINALDI, Celeste, A. (1965) *L'architettura delle piramidi menfite*. Rapallo, vol. IV, p. 69-70 y observ. 53.
- 4 MARAGIOGLIO, Vito y RINALDI, Celeste A. *Op cit.*, observ. 42, p. 149-155.
- 5 MARAGIOGLIO, Vito y RINALDI, Celeste, A. *Op cit.*, observ. 28, p. 127-129.
- 6 GOYON, Georges (1963) *Le Mécanisme de fermeture à la pyramide de Khéops*. Revue archéologique, t. II, Paris, p. 1-24.
- 7 HERODOTO. Historia, libro II. *Los nueve libros de la Historia*. Libro II, *Euterpe*, EDAF 1968, p. 168-169. Traducido al Castellano por P. Bartolomé Pou.
- 8 LEPSIUS, Richard (1843) *Memória: Ueber den Bau der Pyramiden in Monatsberichte der Academie der Wissenschaften zu Berlin*. p. 177-203; Briefe aus Aegypten, 41-42.
- 9 CHOISY, Auguste (1977) *L'art de batir chez les Égyptiens*. Edición de Arnaldo Forni Editore s.p.a. p. 99-100. Copia de la edición de París de 1904.
- 10 CHOISY, Auguste. *Op cit.*, p. 81-83.
- 11 CROON, Louis (1925) *Lastentransport beim. Bau der Pyramiden*. Hanovre.
- 12 LAUER, Jean Philippe (1988) *Le Mystère des Pyramides*. Presses de la Cité, París, p. 64.
- 13 GOYON, Georges (1990) *Le secret des bâtisseurs des grandes pyramides, Khéops*. Pygmalion/ Gérard Watelet, París, p. 64
- 14 STRUB-ROESSLER, Hermann (1952) "Vom Kraftwesen der Pyramiden". En: *Semanario Technische Rundschau*, nº 42 y 43 del 17 y 24 de octubre.
- 15 HODGES, Peter (1989) *How the Pyramids Were Built*. Aris & Philips Ltd. edited by Julian Keable.
- 16 MACAULAY, David (1990) *Nacimiento de una pirámide*. Timum Mas, edición española de Houghton Mifflin Company Boston, 1975, p. 57.
- 17 HÖLSCHER, Uvo (1912) *Das Grabdenkmal des Königs-Chephren*. Leipzig.
- 18 WHEELER, N.F. (1935) "Pyramids and their Purpose". En: *Antiquity IX*, p. 172-173.
- 19 GOYON, Georges. *Op. cit.*, p. 83-85.
- 20 LAUER, Jean Philippe. *Op cit.*, p. 220-226.
- 21 El mecanismo de la cámara real se apoyaba sobre el piso, pared Norte, pared Sur y techo. Durante el funcionamiento, las fuerzas de tracción provenientes de los contrapesos de la galería eran contrarrestadas por el gran dintel sobre la pequeña entrada. Los tirones procedentes del aparato elevador exterior, por medio

de la gruesa cuerda del respiradero, eran absorbidos por el rodillo introducido dentro de la parte desbocada del conducto de ventilación, la pared Sur y el techo.

Al conjunto arquitectónico de los cinco techos planos, más el sexto a contraste y las cámaras intermedias que forman, se le atribuye una función de descarga del peso de la mampostería que gravita sobre él. Sin embargo, los techos planos son totalmente independientes de la mampostería y nada ocurriría si fueran eliminados. En realidad es el techo superior el que, a modo de gablete, descarga hacia los lados todo el peso de los sillares superiores.

No es satisfactoria la hipótesis expuesta por el arquitecto francés J. Philippe Lauer en su obra *Le Mystère des Pyramides* [p. 223]: " Fue entonces, sin duda, [se refiere durante la construcción del primer techo] cuando los constructores constataron que las enormes vigas de granito se fisuraban debido al asentamiento de la pared Sur de la cámara e intentaron remediarlo construyendo cámaras de descarga cubiertas del mismo modo. Pero las vigas se siguen agrietando y ello les lleva finalmente a decidir cubrir la quinta cámara de descarga, situada cerca de 65 m. de altura, por medio de grandes vigas de piedra caliza dispuestas a contraste, tal como hicieron en la llamada Cámara de la Reina". En nota aparte añade que los egipcios, confiados en la dureza del granito, intentaron inútilmente evitar la utilización de las bóvedas en ángulo tal como habfan hecho siempre.

Carece de sentido pensar que los constructores egipcios pretendieran cubrir la estancia por medio de un techo plano de 5 m. de luz que soportara todo el peso del núcleo a partir de este nivel. Si tenemos en cuenta la precaución que tuvieron en la *Gran Galería*, reduciendo la luz de 2 m. a 1 m. por el recurso de bóveda en salidizo y la disposición en diente de sierra de las losas que forman el techo para que no se transmita el peso de unas sobre otras, no podemos aceptar el juicio de Lauer.

Tampoco se comprendería que insistieran en superponer nuevos techos planos debido a la presencia de fisuras en los inferiores si la finalidad de la cámara era asegurar el descanso eterno del faraón.

Los técnicos franceses Gilles Dormion y Jean-Patrice Goidin plantean la posibilidad de que el diseño de la techumbre obedezca a la existencia de una nueva cámara real, situada junto a la conocida y sobre el eje de simetría de la pirámide. De esta forma, al quedar el gablete del techo superior muy por encima de la cámara oculta debido a los cinco techos, las fuerzas resultantes que aquél transmite no inciden sobre la estancia.

La teoría propuesta por Dormion y Goidin no justifica la necesidad de construir una estructura de techos tan compleja y costosa. Existen soluciones más simples, en este caso, para evitar la transmisión de los esfuerzos. Si la verdadera cámara funeraria fuera la que intuyen, nada impediría que la actual *Cámara del Rey*, provista de un techo como el de la *Cámara de la Reina*, ocupara una posición más alejada, baja o alta respecto de su homóloga. Otra solución sería que, sin modificar la disposición actual de las cámaras, la supuesta cámara verdadera ocupara otro nivel sobre el eje de simetría.

El recurso arquitectónico del arquitebado múltiple, empleado por los constructores de la pirámide para cubrir la cámara, tiene respuesta si se acepta que la finalidad de la estancia no era funeraria, sino contener el mecanismo de construcción expuesto en este estudio.

Si hubieran dotado únicamente de un techo a la estancia y durante la construcción de la pirámide -ya sea por movimiento sísmico, golpe de máquina o asentamiento del núcleo de mampostería- hubiera cedido, los daños en la obra serían considerables e incluso irreparables si se estuviera trabajando a niveles altos.

Los hechos demuestran que los egipcios tenían razón al temer un posible accidente de estas características, pues las vigas del lado Sur están fisuradas. Es prácticamente seguro que por lo menos una de las vigas del primer techo se fisuró durante la construcción de la pirámide. La presencia del conducto excavado en lo alto de la *Gran Galería* que conduce a la cámara de Davison y el testimonio de Petrie cuando afirma que una de las grietas fue estucada desde el interior de la cámara intermedia lo evidencian.

De acuerdo con la teoría mecánica del presente estudio la separación entre techos podría parecer excesiva o innecesaria; no es así, pues tal holgura responde a la conveniencia de que la eliminación de todo o parte del techo se haga por la parte superior de las vigas. La cavidad debe pues permitir la posición sentada de los picapedreros.

El hecho de que la parte inferior de los techos esté perfectamente llana indica que se consideró la posibilidad de que, en su momento, cada uno de ellos pudieran servir de techo principal.

22 Sobre la presencia o finalidad de estos agujeros existen pocas e insatisfactorias hipótesis. Petrie y Perring no dan ninguna. Maragioglio y Rinaldi reconocen no disponer de una explicación razonable y critican las versiones dadas.

Borchardt describe una estructura de postes verticales unidos entre sí por medio de tensas cuerdas que enlazan la parte inferior de un poste con la superior del anterior. Estos montantes, formados por dos o tres listones a fin de justificar las diferentes y alternas medidas de los huecos, tenían por misión sostener un tablado paralelo al piso a la altura de la ranura que recorre la pared de la galería a nivel del tercer salidizo. Sobre esta plataforma descansarían los grandes bloques destinados a obstruir el *Pasaje Ascendente*.

Wheeler y Goyon introducen en los agujeros unos calces que sujetarían a un travesaño destinado a retener e impedir el deslizamiento de los bloques obstructores emplazados sobre el piso de la galería.

Ninguna de estas hipótesis justifica la alterna diferencia en la medida de las oquedades; su forma trapezoidal (el lado superior vertical y el inferior perpendicular a la pendiente) no se corresponde con la finalidad de retención. Tampoco hacen necesaria la presencia de los correspondientes nichos sobre la pared de la galería y de sus mojones insertos; ni que los dos primeros pares de huecos, al principio de la galería, carezcan de nicho.

A mi modo de ver, los agujeros constituían los empotramientos de unos postes de madera dispuestos alternativamente en vertical y perpendicularmente a la pendiente de la galería. Esto justifica la diferencia de medidas pues, tal como observó Petrie, la proyección sobre la horizontal de la medida mayor equivale a la medida corta. En resumen, para que los postes pudieran adoptar la posición descrita y disponer de la misma sección, era necesario que los correspondientes empotramientos fueran de distinta longitud.

En cuanto al nicho con el mojón inserto y ambos cruzados por una entalladura, constituye un ingenioso sistema de introducción y fijación de cuñas para inmovilizar los postes sin que sufra desgaste alguno la pared de la galería. A cada poste vertical le correspondía un listón perpendicular, y viceversa, que calzaba al poste e impedía el desprendimiento de la correspondiente cuña. Periódicamente, mojones y cuñas eran sustituidos, manteniéndose siempre el mismo nivel de eficacia. Los nichos no eran necesarios en el extremo inferior de la galería debido a la presencia de la pared Norte. La flexión de los postes ante el impacto del trineo era mucho menor en esta parte.

Petrie, en *The Pyramids and Temples of Gizeh* aporta las siguientes medidas como media en ambas clases de oquedades:

20,51"  $\pm$  0,4 para los agujeros pequeños y 23,32"  $\pm$  0,73 para los mayores.

23 Petrie, en *The Pyramids and Temples...* da como longitud del piso 1.815,5"  $\pm$  0,15 = 46,1137 m. Los tres trineos contrapeso ocuparían una distancia equivalente a la que media entre el *Gran Escalón* y el límite del fondo del tercer agujero (límite del poste) más el avance de la arista superior del primer bloque contrapeso puesto que la posición del mismo es paralela a la pendiente:

Longitud del piso de la galería: 46,1137 m.

Espacio entre el *Gran Peldaño* y el primer agujero ménsula: 0,8070 m.

Longitud del primer agujero-ménsula: 0,5923 m.

Espacio entre el primer y el segundo agujero-ménsula: 1,1632 m.

Longitud del segundo agujero-ménsula: 0,5209 m.

Segundo espacio intermedio: 1,1632 m.

Longitud del fondo del tercer agujero o límite del tercer poste: 0,5209 m.

Espacio ocupado por los trineos: 4,7675 m.

Avance del vértice superior del bloque = Tangente de la galería x altura del bloque:

Tangente de 26° 16' 40" x 120 = 0,5924 m.

Distancia del *Gran Peldaño* al vértice superior del primer bloque: 5,3599 m.

Espacio útil para el recorrido de los trineos = longitud de la galería - distancia al *Gran Peldaño* del primer contrapeso = 40,7538 m.

Puesto que son tres los contrapesos, dispondremos también de tres veces la longitud de recorrido antes obtenida para cada trineo:

40,7538 x 3 = 122,261 m.

Esta distancia multiplicada por el seno del ángulo de la pirámide; 51° 49' 38", nos proporcionará la altura máxima que es posible alcanzar mediante este

sistema de elevación; es decir, la altura sobre la que podemos situar la base de la última piedra o piramidi6n:

$$122,261 \times 0,7861513 = \underline{96,116 \text{ m.}}$$

La base de la hilada 61 6 parte superior de la hilada 60, punto de partida del proceso ascensional, dista del pavimento o cota 0, 49,77 m. Si a esta magnitud le sumamos la altura obtenida por medio del mecanismo de las c6maras, tal como hemos calculado, tendremos la altura m6xima respecto al nivel del suelo a que podremos emplazar la base del piramidi6n:

$$49,77 + 96,116 = \underline{145,886 \text{ m.}}$$

La pir6mide, de acuerdo con la proporci6n Phi, medir6a 146,514 m.; es decir que el sistema nos permite emplazar un piramidi6n cuya altura sobrepasa 0,628 m.:

$$145,886 + 0,628 = \underline{146,514 \text{ m.}}$$

24 La finalidad de estos huecos no puede ser la que apuntan algunos autores cuando afirman que conten6an un travesa6o de madera para impedir que los bloques obstructores pudieran rebasar la zona constre6ida del pasaje durante la fase de sellado.

El error es l6gico puesto que resulta dif6cil aceptar que la estrechez del conducto pudiera resistir el fuerte impacto de la cu6a obstructora.

El dise6o de estos huecos no se corresponde con el que tendr6an si la citada teor6a fuera acertada. El esculpido presenta la cara plana hacia el Sur. Esto significa que el travesa6o, o lo que contuvieran dichas entalladuras, estaba sometido a un esfuerzo ascendente. Ante una fuerza de sentido contrario hubiera sido f6cilmente desalojado.

El eje de la rueda del circuito que se propone trabajar6a siempre en tensi6n hacia la galer6a, nunca en sentido contrario.

25 Ambas paredes est6n provistas de 5 agujeros de distinta profundidad y el mismo tama6o, a excepci6n del cuarto, que es mucho mayor. Presentan forma trapezoidal recta debido a que el lado superior sigue la trayectoria de la prolongaci6n del piso de la galer6a. Maragioglio y Rinaldi son de la opini6n de que las viguetas ten6an que ser de madera y no de piedra tal como afirman otros autores. No obstante, manifiestan desconocer el motivo de la diferente y alterna profundidad, as6 como el mayor tama6o del cuarto, que ocupa una posici6n aproximadamente central.

La distinta profundidad que alternan ambas paredes es un recurso para facilitar la introducci6n y extracci6n de las viguetas. Quitando los calces para que descendan, introduci6ndolas hacia el lado m6s hondo, y d6ndoles la inclinaci6n adecuada ser6a posible desalojarlas de sus empotramientos.

El hueco mayor era el depositario de la vigueta que, a su vez, hac6a de eje de la rueda encargada de desviar la cadena hacia la *C6mara de la Reina*.

Tanto las viguetas como los dos carriles deber6an disponer de entalladuras a media madera. Esto fijar6a tanto a unos como a otros impidiendo cualquier desplazamiento lateral y hacia el *Pasaje Ascendente*, cuyo peque6o escal6n resultar6a insuficiente de otro modo para impedir el deslizamiento de los carriles.

26 La cabria o rueda de escalones es parte fundamental en el mecanismo. Su efecto reductor, a cambio de sacrificar velocidad en la ascensi6n de los sillares, proporciona una considerable fuerza tanto para ayudar en la fase de retorno de los



contrapesos como para el control de los mismos durante su descenso puesto que, una vez vencido el roce estático, los trineos experimentan un aumento de velocidad que debe ser controlado para aminorar el impacto de los mismos contra los topes de la galería. Si por accidente se rompiera la gruesa cuerda que tira del aparato elevador en el exterior o se desprendiera el sillar durante su ascensión, el trineo, se precipitaría por la pendiente de la galería ocasionando graves desperfectos en la obra y en todo el mecanismo. Pero la existencia de este dispositivo en la *Cámara de la Reina* evitaría semejante catástrofe.

La fuerza de tracción de la cadena sobre la máquina, durante el funcionamiento, era contrarrestada por el especial entrante que presenta la pared Este, llamada *nicho*, que constituía el anclaje de los ejes de la cabria. También por el escalón que, a 5,5 m. de la cámara, reduce la altura del corredor horizontal en más de 50 cm. Contra este brusco desnivel topaba la prolongación de la bancada de madera que pavimentaba el irregular suelo de la estancia.

Cuatro desconcertantes aspectos tendrían respuesta considerando la ubicación en esta cámara del sistema mecánico que estamos estudiando:

El primero es la inexplicable presencia del llamado *nicho*, de forma telescópica, y su desplazamiento respecto del eje de simetría de la estancia.

El segundo sería la especial disposición que adoptaba la piedra que forma el escalón del corredor. Vyse, que excavó en esta zona, afirma que el bloque se incrustaba en una de las paredes y por contra no quedaba bien asentado sobre la base, de forma que permitía introducir una pequeña caña por debajo del mismo. De ello deduzco que la intención del arquitecto egipcio era evitar un posible desplazamiento de este bloque hacia arriba. Un empuje en este sentido sólo podría proporcionarlo la prolongación de la bancada y, en alguna medida, así parece ser que ocurrió, dada la oquedad que presentaba en su parte inferior.

En tercer lugar, el aspecto inacabado del suelo de esta estancia no obedecería a un abandono de las obras por cambio de plan, sino por ser innecesario el pavimento, dado que estaba previsto colocar el entarimado que soportaría la bancada de la cabria.

Por último, la función de los conductos llamados respiraderos, descubiertos y abiertos en 1872 por Waynman Dixon. Se trataría de un recurso ante posibles graves atascos de los trineos contrapeso; de tal forma que, si los hombres situados en el interior de la cámara se vieran impotentes para accionar la rueda de escalones, habría bastado romper las membranas de piedra para posibilitar que cuerdas procedentes del exterior penetraran en la estancia a través de los conductos y accedieran al tambor de la cabria reductora.

## BIBLIOGRAFIA

BORCHARDT L. (1926) *Längen und Richtungen der vier Grundakten der Grossen Pyramide bei Gise*. Berlin, J. Springer.

CAPART, J. (1930) *Memphis á l'ombre des pyramides*. Bruselas, Vromant.

COLE, J.H. (1925) *Determination of the Exact Size and Orientation of the Great Pyramid of Gizeh*. El Cairo, Government Press.

CHOISY, A. (1904) *L'art de bâtir chez les Egyptiens*. París, Ruueveyre.

- DORMION, G. et GOIDIN, J.P. (1987) *Les nouveaux Mystères de la Grande Pyramide*. París, Éditions Albin Michel.
- (1986) *KHEOPS Nouvelle enquête*. París, Editions Recherche sur les Civilisations.
- EDGAR, M. (1924) *The Great Pyramid, Its Scientific Features*. Glasgow, MacLure & MacDonald.
- (1924) *The Great Pyramid and Its Spiritual Symbolism*. Glasgow, Bone & Hulley.
- (1924) *The Great Pyramid and Its Time Features*. Glasgow, Bone & Hulley.
- EDWARDS, I.E.S. (1949) *The Pyramids of Egypt*. Middlesex, Penguin.
- FAKHRY, A. (1956) *The Monuments of Sneferu at Dashur*. El Cairo, Government Press.
- (1954) *The Bent Pyramid at Dashur*. El Cairo, Government Press.
- (1961) *The Pyramids*. Chicago, University of Chicago Press.
- GIEDION, S. (1981) *El Presente Eterno: Los Comienzos de la Arquitectura*. Madrid, Alianza Forma.
- GONEIM, M.Z. (1956) *The Lost Pyramid*. Nueva York.
- GOYON, G. (1944) *Les inscriptions et graffiti des voyageurs sur la Grande Pyramide*. El Cairo, Societé Royal de Géographie.
- (1990) *Le secret des bâtisseurs des grandes pyramides. Khéops*. París, Pygmalion.
- GREVES, J. (1736) *Pyramidographia, or a Description of the Pyramids, of Egypt*. Londres, J. Brindley.
- HASSAN, S. (1960) *The Great Pyramid of Khufu and Its Chapel*. El Cairo, Government Press.
- HERODOTO (1968) *Los nueve libros de la Historia. Libro II, Euterpe*. Madrid, Edaf.
- HODGES, P. (1989) *How the pyramids were built*. Edited by Julian Keable. Shaftesbury, Dorset.
- (1994) *Como se construyeron las pirámides*. Madrid, Tikal Ediciones.
- HOWARD-VYSE, R.W. (1849) *Operations Caried on at the Piramids of Ghizeh in 1837*. Londres, J. Fraser.
- JACOBS, E.P. (1984) *El Misterio de la Gran Pirámide*. Junior.
- JOMARD, E.F. (1829) *Description generale de Memphis et des pyramides*. París, Imprimerie Royale.
- (1829) *Remarque sur les pyramides*. París, Imprimerie Royale.
- KURT, L. (1961) *Pirámides, Esfinges y Faraones*. Barcelona, Destino.
- LAUER, J.P. (1948) *Le problème des Pyramides d'Egypt*. París, Payot.
- (1960) *Observations sur les pyramides*. El Cairo, Institut Français.
- (1988) *Le Mystère des Pyramides*. París, Presses de la Cité.
- LEPSIUS, R. (1843) *Uber den Bau der Pyramiden*. El Cairo.
- MANETON (1993) *Historia de Egipto "Aegyptiaca"*. Madrid, Alianza Editorial.
- MARAGIOGLIO, V. y CELESTE, A.R. (1963) *L'Architettura delle Piramidi Menefite*. Rapallo, Officine Grafiche Canesca.

- MINGUEZ, M. (1985) *Les Pyramides d'Egypte. Le secret de leur construction*. París, Tallandier.
- PERRING, J.S. (1839-1842) *The Pyramids of Gizeh from Actual Survey and Measurement on the Spot*. Londres, J. Fraser.
- PETRIE WILLIAM, M.F. (1893) *The Great Pyramid*. Londres, Tract Society.
- (1892) *Meidum*. Londres, David Nutt.
- (1883) *The Pyramids and Temples of Gizeh*. Londres, Field & Tuer.
- (1898-1905) *History of Egypt*. Londres, Methuen.
- (1931) *70 Years in Archeology*. Londres, S. Low, Marston.
- (1893) *Ten Years Digging in Egypt*. Londres, Religious Tract Society.
- RICART, A. (1991-1992) *La Pirámide de Khéops y la verdadera función de sus cámaras y pasajes*. Tarragona, Edición privada.
- (1994) *La Pirámide de Khéops. Exposición y nuevo análisis del sistema constructivo*. Tarragona, Edición privada.
- RINALDI, C. (1983) *Le Piramidi. Un'indagine sulle tecniche costruttive*. Milano, Electa Editrice.
- SMYTH, Ch.P. (1867) *Life and Work at the Great Pyramid*. Edinburgo, Edmonton & Douglas.
- (1884) *New Measures of the Great Pyramid*. Londres, R. Banks.
- (1978) *The Great Pyramid. Its Secrets and Mysteries Revealed*. New York, Bell Publishing Company.
- (1864) *Our Inheritance in the Great Pyramid*. Londres, A. Straham & Co.
- STADELMANN, R. (1985) *Die ägyptischen Pyramiden*. Mainz.
- (1990) *Die grossen Pyramiden von Giza*. Graz.
- TOMPKINS, P. (1987) *Secretos de la Gran Pirámide*. Argentina, Javier Vergara.
- YOSHIMURA, S. (1988) *Non-Destructive Pyramid Investigation I y II*. Tokyo, Waseda University.