

Buf, casi me da apuro intervenir en un hilo de auténticos expertos. Da gusto oírlos hablar. Y como yo resulta que soy arquitecto, trataré de aportar mi granito de arena. Vaya por delante que no soy historiador, ni mucho menos científico; soy simplemente un aficionado a la historia con algún conocimiento de técnicas de construcción. Mis "investigaciones" son completamente amateur y basadas en un estudio francamente pocori guroso.

Realmente, resulta asombroso el conjunto de pirámides que va desde Zoser hasta la gran Zanja. Cualquiera de ellas supera con mucho en volumen a cualquiera de las posteriores, y se realizaron en un intervalo de en torno a 80 años. En una historia de 4000 años, resulta aún asombroso. Por fuerza tiene que ser resultado de un procedimiento, o conjunto de procedimientos constructivos ingeniosos y eficaces cuyo secreto se perdería en la siguiente generación.

Hoy día, en cualquier obra, existen diversos "procedimientos" ingeniosos para solucionar pequeñas tareas, desde el nivel de agua hasta el azulete para trazar líneas, los apeos, el spray, etc. Procedimientos que resuelven cosas y que pronto desaparecerán sustituidos por otros más novedosos o prácticos. Probablemente Zoser o quizá Sneferu desarrollaron tal sistema o conjunto de sistemas constructivos (no uno solo; insistimos a menudo en la idea que resuelva la construcción de toda la pirámide), y lo probaron en varios modelos, hasta dar con el sistema correcto, probablemente en la pirámide de Khafre.

(...vaya, me tengo que ir)

Bueno, os anoto en plan rápido algunas de mis ideas:

- Las pirámides se podrían construir con rampas... interiores. Todas las pirámides de aquellos 80 años las tienen, en diferentes disposiciones. ¿Por qué no usar los pasillos? De ese modo es posible replantear las aristas o perfilar los revestimientos (cosa que impiden las soluciones rampas exteriores), y además la construcción no se duplica innecesariamente.

- Tengo un dibujo de lo que creo el primer proyecto de Khufu. Quiso copiar la Roja de su padre... Esta ahí, dentro de la actual. De ahí que tras los conductos no haya sino piezas del revestimiento original, no cámaras secretas.

(seguiré...)

Pedro Martín

Bien, sigo con poco tiempo, pero en un ratillo he podido realizar algunos dibujos que explican algo lo que quiero decir. Siento el *look* de servilleta de bar, ejem.

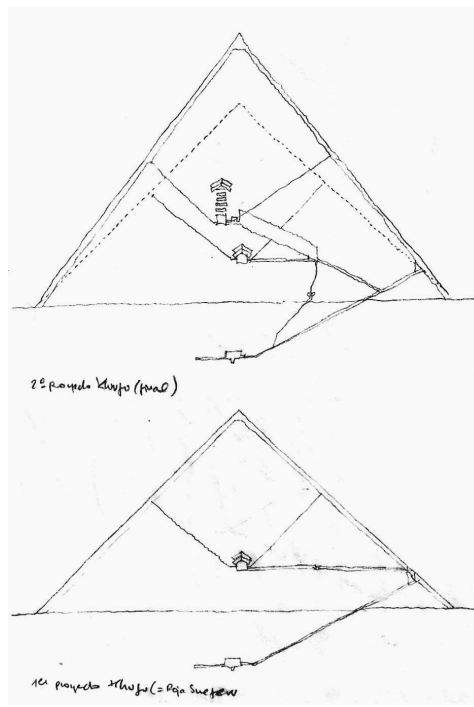
Lo que os trataré de explicar no es una idea mágica; ni siquiera es una idea completa. Sólo trato de aportar algunas cosas al debate para que, mediante ensayo y error y en base a las aportaciones críticas de todos, podamos intentar ir obteniendo algo en claro.

En la pirámide de Khufu existen dos sistemas de pasillos, uno basado en la llamada cámara de la reina, y otro superior en torno a la cámara del rey. Ambos tienen accesos a través de corredores inclinados, ambos tienen sus conductos de ventilación, ambos se construyeron de modo parecido, etc. A mi entender, ello debe corresponder a dos fases o proyectos sucesivos.

Dada la experiencia de su padre Sneferu (1er. intento con la de Huni, 2º intento en semifallo en la Bent, 3º con éxito en la Red), creo que Khufu trató en un primer momento de reproducir la pirámide roja.

Si dibujamos una pirámide con la pendiente y dimensiones de la roja en el interior de la pirámide actual, y dejamos sólo el sistema de pasillos inferior, obtendríamos la siguiente disposición:

http://www.arkcenter.net/pir_2.jpg



Creo que, en una fase no determinada, Khufu decidió aumentar la pendiente de su pirámide, acercándose a la que su padre trató infructuosamente de hacer en la Bent. Probablemente tenía ya fabricado un 80% de la pirámide inicial, incluido parte del revestimiento. ¿Por qué? Porque coincide que las famosas "puertas" al final de los llamados "conductos de ventilación" están a una distancia que coincide con la cara exterior del proyecto inicial, es decir, donde tendría que

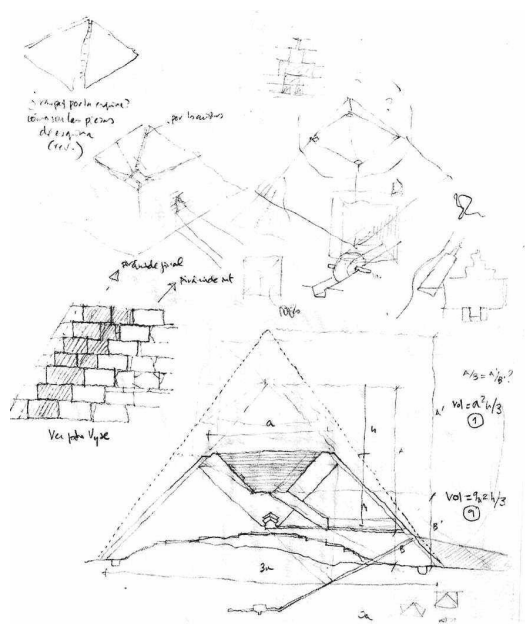
estar el primer revestimiento. Es por ello por lo que no creo que haya nada especial tras las famosas puertas; únicamente... más bloques, los de la ampliación de pendiente del proyecto definitivo.

O tal vez la puerta, con sus piezas de cobre, sea una pieza del sistema de subida de piedras... pero más acerca de esto después.

Pedro Martín

Bien, sigamos. Voy a centrarme ahora en la construcción de la pirámide del primer proyecto, o lo que es lo mismo, en la construcción de la Red de Sneferu.

http://www.arkcenter.net/pir_1.jpg



En este dibujo os resumo cómo creo que se podrían utilizar las rampas interiores. En la parte inferior hay una sección de lo que sería la obra en el estado que debía estar en el momento de cambiar de plan.

Os puede parecer que la pirámide, en este estado, está en realidad a medias; pero lo cierto es que si se calcula el volumen de lo construido, se observa que corresponde aproximadamente con un 80% del total; la "pirámide" de la cúspide, aunque sea lo más difícil de realizar, supone un volumen pequeño en relación con el resto de la obra.

Creo además que, como se puede observar aún en algunas obras egipcias inacabadas, el volumen de obra se reduciría aún más si se construye modelando una colina o pequeño promontorio existente, tal y como os indico en el dibujo (y como, por otra parte, se realizó en la Esfinge). A mi entender, la cámara de la reina estaría casi apoyada sobre la roca.

He supuesto además que el camino procesional (que sería la "rampa de piedra" de Heródoto) subiría hasta el nivel del corredor horizontal, aunque fuera sólo durante la realización de la obra. El pórtico actual de entrada, horizontal, coincide con el pasillo de la cámara de la reina, así que tal vez pudiera tratarse de un pasaje abierto similar a la gran galería.

Como se ve en el croquis, los pasillos interiores, de ancho originalmente triple del actual (aprox.), y techados como los investigados en Meidun, darían para el paso de piedras y movimiento de personal.

Por dichos pasillos se subirían las diferentes piedras, por procedimientos que desconozco pero que probablemente tienen que ver con cuerdas y rodillos de madera convencionales. Las marcas laterales de la gran galería así lo sugieren.

Recientemente he encontrado en Internet un sistema ingenioso para el transporte de piezas por los pasajes, y que me parece interesante precisamente por su sencillez. El autor, Allen Dittmer, lo propone para las rampas exteriores, pero nada más verlo pensé que resultaba directamente aplicable a las características de la gran galería.

Dittmer considera, como muchos autores, que las piedras pudieron ser trasladadas sobre carros o trineos ("sledge"), formados por dos tablonces longitudinales colocados de canto, y unidos entre sí por una serie de tablonces menores transversales, sobre los que se colocaba el bloque correspondiente. Este carro, sobre el que se colocaría el sillar a trasladar, sería tirado mediante cuerdas por un grupo de operarios. Deslizaría bien sobre una serie de rodillos de madera colocados sobre el suelo, o bien sobre una serie de tablonces incrustados en él, a modo de "traviesas", sobre las que sería necesario verter algún tipo de lubricante. Para facilitar el deslizamiento, los extremos de los tablonces irían redondeados.

Este tipo de carros aparece en algunos relieves, aunque es representado deslizando directamente sobre el suelo, por lo cual en algunos aparece un operario más que se ocupa de verter algún tipo de líquido lubricante delante del carro. Se trata, en cualquier caso, de representaciones muy posteriores a la construcción de las pirámides. Dittmer cita el relieve de la tumba de Djehutihotip, de hacia 1800 aC, es decir, 800 años posterior a la construcción. La estela de Tura, de 1580 - 1588 aC, también muestra este tipo de carro, y de nuevo sin rodillos. Por su parte, y como se sabe, la rueda no aparece reflejada en los bajorelieves hasta el 750 aC; el primer transporte con ruedas fue introducido por los hicsos entre 2040 y 1786 aC.

Al proponer esta solución, el autor es consciente de sus problemas, siendo el principal el hecho de que los rodillos también ruedan con el propio carro, por lo que sería necesario irlos recolocando manualmente después de cada paso de bloque, lo cual haría el proceso muy lento y engorroso.

Para resolverlo, Dittmer propone dos soluciones: un trineo de raíles en arco y otro que denomina "four rail sledge", es decir, trineo de cuatro raíles. El primero, en el que los tablonces tienen un perfil inferior en arco rebajado, no me acaba de convencer: presentaría un "cabeceo" rítmico, y pienso que haría sufrir mucho a cuerdas y piezas de madera. Sin embargo, el segundo sí parece interesante. Dittmer diseña un tablón con un perfil ligeramente modificado, de tal modo que la parte central inferior tiene un amplio rebaje longitudinal, de tal modo que la cara inferior toca los rodillos únicamente en el tercio frontal y el final (es decir, tiene cuatro zonas de apoyo, dos a derecha y dos a izquierda, de ahí "four rail sledge"). De esa manera, al avanzar el carro sobre el rodillo correspondiente, éste gira avanzando hasta llegar al rebaje, en el que pierde el contacto con

el tablón, cayendo hacia atrás a causa de la inclinación de la rampa y recuperando la posición, para lo cual propone un pequeño "tope" de madera.

El sistema es muy simple, y permite un trasiego de bloques muy fácil. Dittmer lo aplica a una rampa exterior espiral tradicional; sin embargo, la solución me recordó inmediatamente a la gran galería. Los huecos laterales permitirían fácilmente disponer las cuñas tope; los rodillos se apoyarían en los escalones laterales, mientras que por su parte la fuerte inclinación de la galería permitiría recuperar su posición sin problemas. De hecho, me parece difícil que en una rampa exterior, de pendiente reducida y realizada probablemente con arena compactada, pudieran recuperarse los rodillos sin atascarse a menudo¹. Podría ser que la fuerte pendiente de los conductos interiores fuera, de hecho, "necesaria" precisamente para que un sistema así funcionara.

Dittmer considera además que, para facilitar el traslado, sería posible que los rodillos no fueran completos, sino pequeños cilindros moviéndose en canales, realizados *ad hoc* para ello en la rampa exterior. Sin embargo, lo cierto es que me parecen más fáciles de atascar de esta manera que de la otra. Un pequeño cilindro suelto (es decir, sin eje que lo una a otros de su lado y del otro, tipo tren), sobre ese carril, podría fácilmente girar lateralmente y atascarse. Únicamente una esfera sería capaz de poder adaptarse a un canal así.

Por cierto, ¿canal? ¿esfera? ¿No se encontró una esfera de basalto en uno de los canales de ventilación? ¿Podría ser que...? Bien, otro tema a mirar.

Problema: los operarios ¿por dónde caminarían? La galería estaría "techada" de bloques transversales. ¿Por debajo? Quizás tiene razón Dittmer y se trataba de pequeños cilindros, no unidos en el centro; sin embargo, esto tiene problemas adicionales, como hemos visto. Entonces ¿por dónde pasarían las cuerdas? ¿Cómo controlar el cabeceo de los cilindros, de cierto ancho? No está aún bien definido el sistema. A trabajar.

Dittmer recuerda que se han encontrado restos de rampas de arcilla ("clay") en Giza, y de barro ("mud") en Saqqara.

A medida que se fueran realizando las gradas, sería necesario "techar" los pasadizos, convirtiéndolos en los túneles actuales, según se indica en el dibujo siguiente:

http://www.arkcenter.net/pir_4.jpg



De la foto del boquete de Vyse y en las diferentes "roturas" de la Bent) se desprende que únicamente las piezas exteriores serían medianamente careadas, mientras que las piezas interiores eran irregulares, prácticamente según venían de cantera, y estaban colocadas más descuidadamente (huecos -lo que hacía menor el volumen total-, dobles hiladas, parches, etc.).

¹ Aunque pudiera ser que la rampa estuviera pavimentada.

La utilización de rampas interiores facilitaría enormemente, por otra parte, el replanteo de la cara de revestimiento exterior, con toda la precisión que fuera necesaria. Creo que el revestimiento se iría colocando, de abajo arriba, al mismo tiempo que las gradas. Las teorías habituales de rampa única o espiral harían casi imposible esa tarea.

Con ello completaríamos fácilmente (!) el primer tercio de la altura. A mi entender, y como se ve en el dibujo, el suelo de la cámara del rey sería el descansillo de llegada de bloques de ese 1er. tercio. ¿Y cómo se ascendería al nivel superior, al segundo tercio?

Sigue...

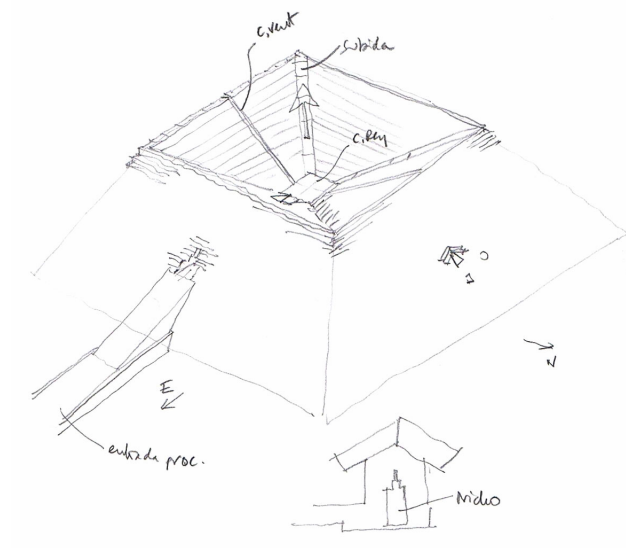
Pedro Martín

Continúo.

Los que conozcáis a fondo la pirámide de Khufu habréis observado un error en el dibujo anterior. Efectivamente, la entrada procesional es por la cara este (el río), mientras que la entrada a la pirámide es por la cara norte. En realidad, soy de la opinión de que existe un pasaje para el paso de material, hoy cegado, que llega a la cámara de la reina por su lado este; el nicho que existe en dicha cara es, precisamente la sección habitual de dichos conductos, tal y como Dormion ha descubierto en Meidun. De todas maneras, en esta propuesta sería razonable que hubiera varios accesos, aunque luego fuera necesario cegarlos después (¡más que nada para evitar atascos!).

Una vez aclarado el tema, seguimos con la construcción del 2º tercio. Creo que llegados a ese punto, los constructores subieron del descansillo hasta los dos tercios según se indica en la sección, construyendo la zona perimetral desde el descansillo central:

http://www.arkcenter.net/pir_5.jpg



Aquí entran en escena los famosos conductos de ventilación. Debo decir que, desde un principio me dieron la impresión de estar relacionados también con el proceso constructivo, en un sentido u otro, pero no lograba encontrarles un papel claro. No ventilarían demasiado, desde luego, si en realidad no se abrían ni al exterior ni a las cámaras... No sirven para llevar bloques tampoco, a no ser que fueran originalmente más anchos (en cuyo caso, ¿por qué estrecharlos después y no cegarlos?, ¿Cuerdas, tal vez? Más sobre ello después...)

Lo que sí es cierto es que, en un principio, se observa que la pendiente de los conductos de ventilación es mayor que la de los pasillos. Ya era fuerte en los pasillos convencionales, por lo que subir un bloque por una pendiente como la de los conductos me parecía difícil, aun siendo las piezas del 2º tercio de menor tamaño.

Bien, pensé, ¿y que tal una rampa interior por la arista, como se indica en el dibujo? Bingo, resulta que la inclinación de la arista en la sección que propongo resulta ser muy parecida a la de los pasillos principales. Aceptada arista como rampa. Con ella (o con dos de ellas, por lo de las alternativas) podemos construir el 2º tercio. A medida que vayamos rellenando el hueco, deberemos ir techando los conductos, como antes.

Ok. Y... ¿las piedras de granito de la cámara del rey?

A continuación...

Pedro Martín

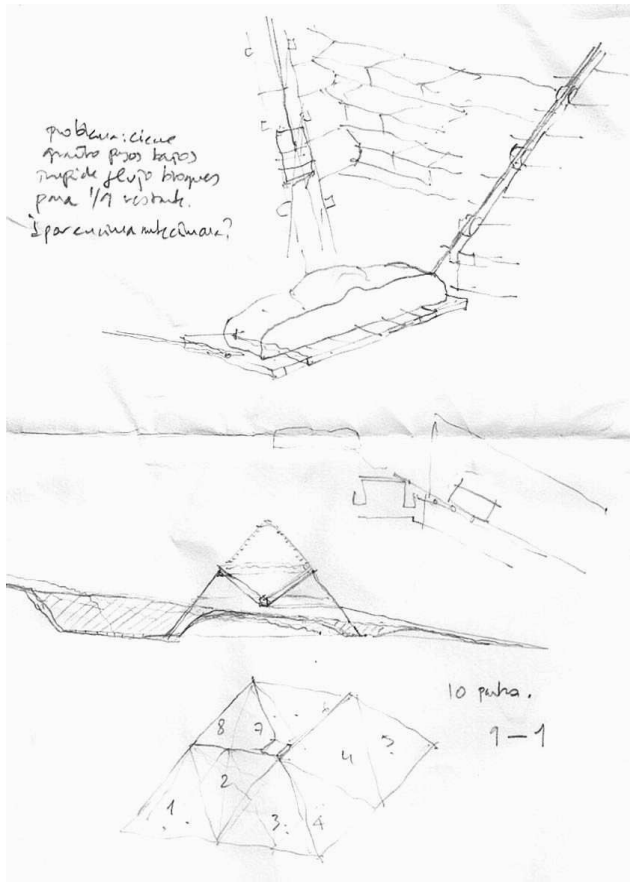
Bien, pues ahora entran en escena los conductos. Obviamente, antes de rellenar con piedras el vacío central es necesario colocar las piezas de revestimiento de la cámara del rey, así como las grandes losas del techo. Lo lógico es hacerlo lo más tarde posible, para poder aprovecharla en el trasiego de bloques, por eso es por lo que dibujo la cámara muy amplia en la axonométrica. Vale, demasiado amplia; no está a escala, es sólo un esquema.

De hecho, la cámara de Khafre está sin revestir (aún es tiempo, señores egipcios; así taparíamos el vergonzante graffiti de Belzoni).

El caso es que llegado un momento se hace necesario trasladar los bloques. La enorme dimensión de las losas del techo es la que condiciona, probablemente, la dimensión de la gran galería. Probablemente sobre rodillos de madera, las losas serían desplazadas hasta su posición final.

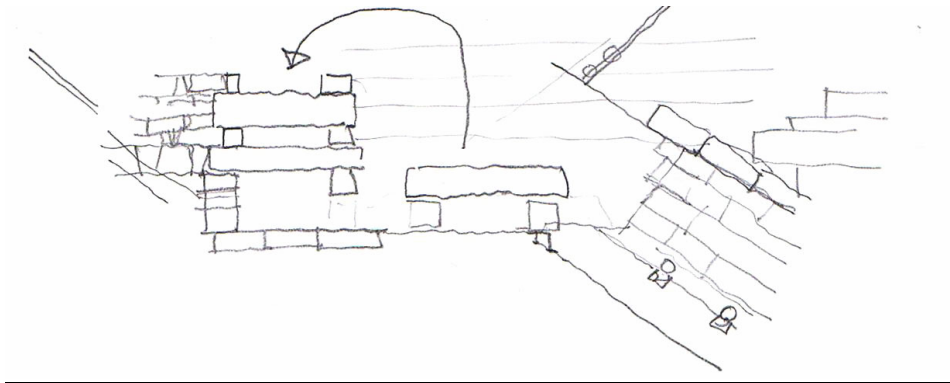
Ah, pero eso está bien, ¿como se alzan hasta su posición final? No lo tengo del todo claro, pero pienso que de alguna manera los conductos pudieron ser utilizados para ayudar a alzar las losas a su posición final. Os adjunto un esquema, un poco peregrino, pero en fin...

http://www.arkcenter.net/pir_3.jpg



La cámara del rey estaría desplazada para poder subir y luego mover los bloques a su posición final, según se indica en el siguiente esquema:

http://www.arkcenter.net/pir_6.jpg



Sin embargo, ya veis que lo de los conductos como paso de cuerdas no es muy compatible con este dibujo, así que aunque la idea parece interesante, hay que darle forma.

¿Y qué pasa con el tercio final de la pirámide? Bien, aunque como ya he dicho es tramo supone en principio un 10 - 15% del total del volumen (aunque el más vistoso, eso sí), ahí he de reconocer que no tengo solución válida, y os pido ayuda para ello. Sí tengo bastante claro que a partir del 2º tercio, aproximadamente, la cosa constructiva es, de algún modo, un asunto *diferente*. Y digo diferente porque hay muestras de ello: la pirámide inclinada cambia su pendiente, la de Kahfre mantiene su revestimiento (quizás por que fue construido "de otra manera", que resultó ser más resistente) y la de Khufu tiene una "marca" horizontal poco visible, pero que aparece, por ejemplo, en muchos dibujos de la "Descripción de Egipto".

Ninguna solución me satisface. Subir por las aristas exteriores me parece ilógico y peligroso; cualquier túnel interior debería tener varios tramos, complicando las cosas, así que, ¡se aceptan sugerencias!

Espero vuestros comentarios; yo ya tengo mis propias críticas, pero me las guardo hasta entonces.

¡Gracias por aguantar el rollazo! ¡Me he quedado a gusto, desde luego!

Pedro Martín

<http://www.arkcenter.net/diversiones.zip>

Volumen de piedra de la pirámide

Creo sinceramente que los constructores, conscientes de la tarea que tenían por delante, trataron a buen seguro de minimizar la masa de piedra a disponer; eran conscientes, además, del plazo aproximado disponible para la obra. En ese sentido, existen tres formas de ahorrar masa:

1. Aprovechar una base rocosa existente
2. Disponer la fábrica en una disposición no totalmente maciza
3. Construir vacíos interiores

Calculemos, pues, qué cota inferior de volumen de fábrica real puede tener la pirámide, y a partir de ello, qué número de piezas / día sería necesario colocar.

Los datos que se indican a continuación están tomados en su mayoría del resumen de la web <http://personal.telefonica.terra.es/web/pyramidsolution>, de Alejandro Ricart Cabús, que los toma de otros autores (se citan).

La medida del promontorio rocoso

Según Maragioglio y Rinaldi (1965), existen cinco puntos donde es visible la base rocosa, medidos respecto al nivel 0 del zócalo exterior:

1. Pozo de servicio, a +7 m.
2. Corredor descendente, a +3 m.
3. Esquina NE, hasta +1,95 (roca labrada en forma de sillar)

4. Esquina NO (altura sin especificar), suponemos +1,95 también.

5. Esquina SO, hasta dos hiladas (a falta de confirmar, suponemos + 4 m)

Con todo ello, podemos dibujar un perfil aproximado para la base rocosa. Soy de la opinión de que los constructores debieron aprovechar un lugar que les permitiera aprovechar al máximo la topografía; además, existen autores para los que la cámara de la reina se asienta sobre la propia base rocosa.

El perfil tiene su cota más alta, por tanto, justo bajo la cámara, a +22 m aprox. (confirmar medida). Para simplificar, consideramos la forma de la base sensiblemente piramidal; obteniendo una pirámide aproximadamente equivalente al perfil dibujado en el croquis, obtenemos una de base cuadrada aproximada 240 metros y altura 19 metros. Aplicando la fórmula del volumen de la pirámide, $V = 1/3 b^2 \times h$, el volumen total del promontorio será de $V = (240 \times 240 \times 19) / 3 = 364.800 \text{ m}^3$.

Volumen total de la pirámide teórica

Las dimensiones medias del lado teórico de la pirámide son de 230,36375 m (¡qué precisión!) (medidas de J.H. Cole, 1925). La altura, deducida supuesto un ángulo Φ (razón áurea) de $51^\circ 49' 38,2''$, sería de 146,51361 m (Ricart).

El volumen total de la pirámide, incluyendo revestimientos, sería de $(230,35 \times 230,35 \times 146,50) / 3 = 2.591.151,48 \text{ m}^3$. Descontando ahora el promontorio rocoso, nos queda un volumen de fábrica añadido de 2.226.351,4 m³.

Se podría considerar además que, en realidad, el promontorio tuviera una forma de pirámide truncada o mastaba; podemos suponer en ese caso un volumen superior, prácticamente 2/3 más; en ese caso, el volumen final de fábrica rondaría los 2.000.000 m³. Tomaremos esta cifra como mínimo absoluto.

Densidad de la fábrica

Tradicionalmente (Petrie?) se ha estimado una densidad de la masa de la pirámide de unos 2,5 Kg/dm³, equivalente a la densidad de la piedra caliza. Las medidas más recientes calculan la densidad de la piedra en 2,354 Kg/dm³ (Smyth, Kerisel), pero para el conjunto de la pirámide se considera un valor de en torno a 2,00 Kg/dm³ (Kerisel), por lo que "de un 10 a un 15% del volumen sería espacio vacío" (espacio entre piedras, cámaras). De un modo más preciso, $2,00 / 2,354 = 0,8496$, por lo que el espacio vacío es del 15,04%.

Aplicando este factor al volumen exterior ya reducido a causa de la base rocosa, obtenemos un volumen final de piedra colocada de $2.000.000 \times 0,8496 = 1.699.200 \text{ m}^3$. Considerando que cada bloque tiene un volumen medio de 1 m³, obtenemos que el número de piezas de piedra a colocar podría ser tan bajo como 1.700.000 unidades.

Me llama la atención el 15% tan exacto. Parece ser una estimación, y no una medida obtenida por medios científicos. Si hacemos un croquis del espaciado posible de las piedras, disponiéndolas en aparejo normal o en "nido de abeja" como proponen algunos autores, el porcentaje de huecos podría ser hasta de un 40%; en ese caso, el número de unidades se reduciría a $2.000.000 \times 0,60 = 1.200.000 \text{ unidades}$.

Ritmo de trabajo

Se estima que la construcción se realizó en apenas 20 años. Es muy difícil poder acotar algo más; en lo que sigue haremos un cálculo por exceso. Supongamos que Djedefre terminara la obra de su padre (de ahí que la suya quedara inacabada). Supongamos que Khufu comienza su obra, aconsejado por su padre, con unos 25 años. Supongamos que muere con,

pongamos, 55 años, y que su hijo le sobrevive, digamos, 25 años más. Esto nos da un total de $40 + 25 = 75$ años.

Por tanto, el ritmo de montaje de piedras sería, como mínimo, de $1.200.000 / 75 = 160.000$ piezas anuales, o lo que es lo mismo, $160.000 / 365 = 43,84$ (44) piezas diarias. Considerando una jornada laboral, en turnos, de sol a sol (media 16 horas), supone una colocación de $43,84 / 16 = 2,74$ (3) piezas hora, lo cual no parece descabellado. Obviamente se trata de una cota inferior, y en cualquier caso una media; en la base el ritmo podría ser menor, y en la cúspide, menor. Efectivamente, 3 piezas / hora me parece, de hecho, poco ritmo para las plataformas de las primeras gradas; y demasiado para las previas al piramidón.

Según cita Dittmer, Evan Hadington ("Atlantic" magazine) comenta que para acabar la pirámide en los habitualmente reconocidos 23 años, sería necesario colocar un bloque cada 2 minutos (30 bloques / hora), suponiendo jornadas de 10 horas diarias, 365 días al año.

Cada vez encuentro más argumentos para un proceso de construcción en tres fases de aproximadamente 1/3 de la altura cada una (por ejemplo, con la constatación de la existencia de un "descansillo" en la arista a 2/3, señalado por Houdin). La primera fase se realizaría mediante planos inclinados o plataformas exteriores, y al tratarse de amplias capas de gradas, permitiría un número de trabajadores simultáneo muy grande. La segunda fase se realizaría mediante rampas interiores, y por tanto el ritmo debería ser menor, con un número de trabajadores más reducido. La tercera fase, realizada por procedimiento aún por definir, debería ser realizada por relativamente pocos operarios.

Calculemos el volumen aproximado de bloques de cada fase. Aunque no sea uniforme, consideramos en principio un tamaño de bloques medio de 1 m³. Vayamos descontando desde arriba.

El último tercio tendría una altura de 1/3 y una base proporcional de $b/3 \times b/3$. Dado que la altura es de 146,51 m, y la base b de 230,35 m², obtenemos un volumen para el último tercio de $(76,78 \times 76,78 \times 48,83) / 3 = 95.953,69$ m³. Con un porcentaje de huecos del 40%, obtenemos $95.953,69 \times 0,60 = 57.572$ bloques.

Para calcular el segundo tercio, calculamos primero en conjunto los dos tercios finales: $(153,57 \times 153,57 \times 97,67) / 3 = 767.808,12$ m³. Descontando ahora el último tercio, el volumen del segundo es entonces $767.808,12 - 95.953,69 = 671.854,43$ m³. En este caso ponemos un porcentaje algo menor, del 35% (mayor peso por encima), por lo que el número de bloques sería de $671.854,43 \times 0,65 = 436.705$ bloques.

Finalmente, deducimos el volumen del primer tercio: $2.000.000 \text{ m}^3 - 671.854,43 - 95.953,69 = 1.232.191,88$ m³. En este caso, suponiendo un porcentaje de huecos del 30%, obtenemos $1.232.191,88 \times 0,70 = 862.534,33$ bloques.

Es decir, el esfuerzo, en m³ de piedra necesarios, para cada una de las fases, guarda una relación aproximada de 6 : 44 : 86, que equivale a 1 : 7,3 : 14,3, o simplificando **1 : 7 : 14**. Si suponemos un ritmo constante, y un plazo de 75 años, ello supondría **unos plazos de 47,5 años para el primer tercio, 24 para el 2º tercio y únicamente 3,5 para el último**.

Lo razonable es, sin embargo, que el ritmo de trasiego de bloques no fuera el mismo. En el primer tercio, los bloques se trasladarían a cielo abierto, en planos inclinados cuya disposición desconocemos. En el segundo sería necesario utilizar rampas interiores que deberían irse techando, por lo que el trasiego debería ser más lento. Y por supuesto, el tercio final tendría un ritmo muy lento, se construya como se construya.

Podemos hacer una estimación muy gruesa en proporción a la base de trabajo de cada fase (es decir, cuanto personal simultáneo cabe en cada plataforma). En ese caso, si A es el área de la plataforma base, la proporción es de 0,44A para la base del 2º tercio, y 0,11A para la del último. Es obvio que las condiciones no son las mismas, y la plataforma de trabajo se iría reduciendo, y hay que contar con la subida hasta la plataforma de trabajo y el hecho de que la de abajo cuenta con todo el terreno perimetral, con lo cual la relación sería aún más fuerte. Pero como cálculo grueso, aplicándolo a las proporciones de volumen anteriores, podemos obtener una proporción de personal posible de 1 : 0,44 : 0,11 (es decir, 100 : 44 : 11, o 9 : 4 : 1. Aplicándolo ahora al ritmo de obra medio supuesto de 3 piezas / hora (suponiendo que es la media del 2º tercio, por ejemplo), obtendríamos **ritmos de 7 piezas / hora para el primer tercio, 3 piezas / hora en el segundo y 0,75 (1) pieza / hora en la cúspide**, lo que suena bastante posible y operativo.

Volviendo a calcular ahora los tiempos para cada fase, a partir de los volúmenes anteriores, obtenemos:

Primer tercio (base, rampas exteriores): 862.534 bloques / 7 bloques por hora = 123.219,20 horas = 5.134 días = 14 años.

Segundo tercio (rampas interiores): 436.705 bloques / 3 bloques por hora = 145.568 horas = 6.065 días = 17 años.

Último tercio (cúspide): 57.572 bloques / 1 bloques por hora = 57.572 horas = 2.399 días = 6,5 años.

Total construcción: 14 + 17 + 6,5 = **37,5 años.**

Es decir, un tiempo razonable, un ritmo razonable, un sistema razonable.

Objeciones de primer orden: Obviamente, los resultados anteriores no son sino una serie de suposiciones sucesivas en las que los posibles errores se van acumulando de modo geométrico, por lo que es fácil obtener valores del doble o triple de lo anterior. Dicho lo cual, insisto que aunque el cálculo es probablemente incorrecto, creo fehacientemente en que los egipcios tratarían de buscar la máxima optimización, minimizando hasta el límite el esfuerzo total por los medios constructivos a su alcance; creo, por tanto, en la búsqueda de la “cota inferior” de dicho esfuerzo.

Objeciones de segundo orden: no se han considerado pausas estacionales, etc.

Hola, Pedro.

Es complicado el uso de los pasillos tal como están ahora. Mas bien es imposible. Parafraseando a un ilustre contertulio nuestro, si subes por la galería estrecha se ve que es imposible mover piedras por allí ni pueden desenvolverse los obreros.

Me resulta muy difícil entender como se pudo reducir la sección de los pasillos recubriéndolos de piedra a posteriori. Tampoco entiendo el motivo de hacerlo. Podrían haberlo dejado más amplio. (aunque solo fuera por el bien de mis cervicales y riñones, el ascenso es una barbaridad, os lo juro)

En el cálculo que haces de la duración de las obras estoy en franco desacuerdo. Creo que cada rey terminó su obra. En caso contrario veo al pobre Menkaure cagándose literalmente en sus muertos por tener que terminar el trabajo de su abuelo y de su padre.

Un saludo.

Hola, Edu.

Qué envidia. O sea, que hablas de primera mano, no con un par de fotos y dibujos desde el sofá de casa como yo... A ver si me crecen los chavales y puedo hacer una visita...

Como tú, creo que no son operativos los pasillos tal y como están ahora. Sin embargo, me siguen llamando la atención. Si se diseñaron para moverse por la pirámide, ¿por qué no horizontales? Si se hicieron para impedir el robo, ¿porqué no pozos verticales, como en Zoser? Y ¿por qué tienen unas dimensiones en los que cabe el bloque tipo y poco más? ¿Quizás se usaban atados con cuerdas, con los operarios a distancia? ¿Quizá eran sólo los pasajes de los contrapesos, y hay una gran galería continua hasta el exterior para el personal? No sé, no sé...

Estoy de acuerdo con el cierre a posteriori, no es fácil ni lógico. Aunque quizás dejaran el conducto sólo para posibles reparaciones. No sé, de nuevo. Además, he mirado la construcción de los conductos de ventilación en su salida al exterior y... Bueno, prometo pensar sobre ello, así que preparaos para otro de mis megaposts :smile:.

En cuanto a la duración, ya ves que en el post final hablo de 37 años, no 75... Sí, creo que dejaremos a Menkaure tranquilo, y a Djedefre "el rebelde" también... Por cierto, ¿te he dicho que también pienso que quizá la Great Pit sea un primer intento de Djedefre antes de Abu Rawash?

Pedro Martín

Un saludo.