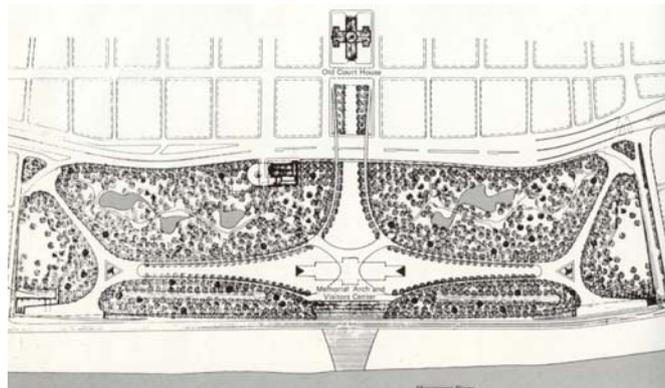


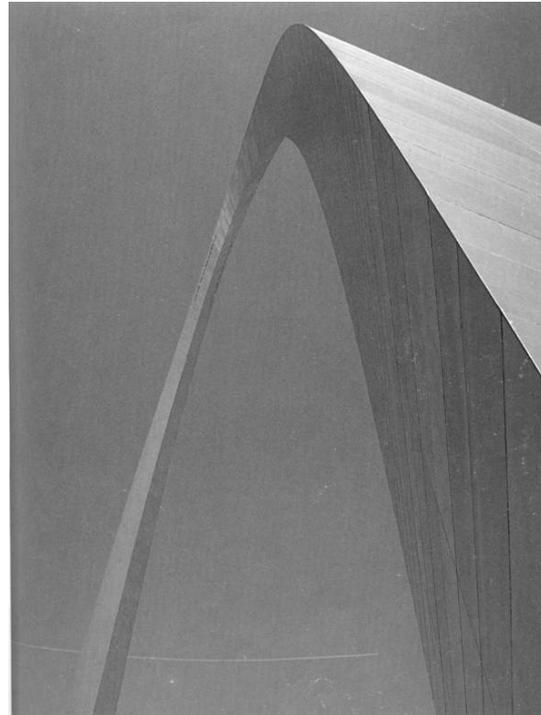
**JEFFERSON NATIONAL EXPANSIÓN MEMORIAL. SAINT LOUIS,
MISSOURI (ESTADOS UNIDOS DE NORTEAMÉRICA). 1947-65.**

Eero Saarinen. Ingeniero Fred N. Severud.



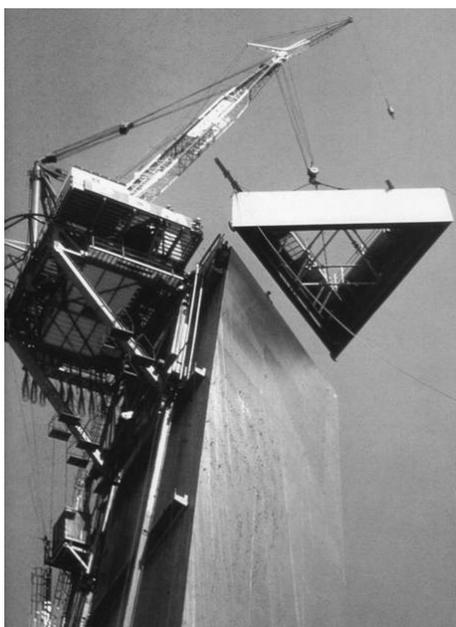
El edificio, en memoria del presidente Thomas Jefferson, es un arco a modo de puerta de paso que simboliza la entrada al oeste del país. Su forma tiene un trazado de catenaria y alcanza una altura de 630 pies (unos 192 metros) que es la misma distancia que separa los lados exteriores de los apoyos.

El concurso fue convocado en 1947 pero los inevitables problemas técnicos de todo gran proyecto (por envergadura y por coste) junto con los de índole política hicieron que la construcción no empezara hasta 1960.



Vista general desde el río y vista desde uno de los pies donde se ve el cambio de sección en la clave.

La sección transversal del arco es un triángulo equilátero que va reduciendo su tamaño a medida que se acerca a la cima del edificio: en la base tiene 54 pies (unos 16'5 m.) de lado y en la clave del arco tiene 17 pies (algo más de 5 m.)

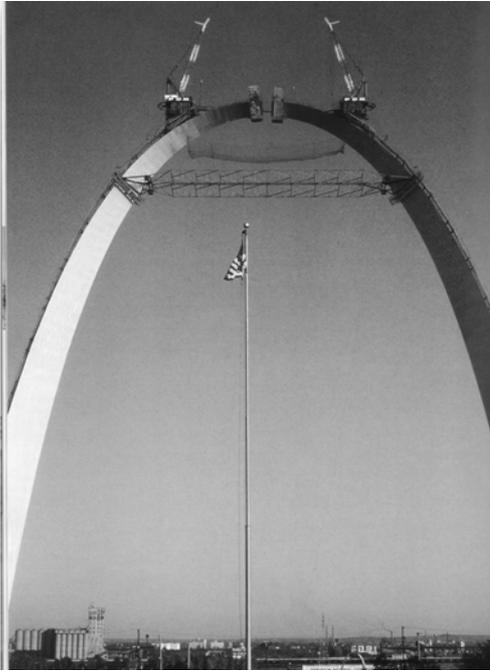


Colocación de un segmento con ayuda de la grúa trepante

Fred Severud, ingeniero de la obra, comparó el comportamiento estructural del edificio al de una hoja de hierba. Esta comparación corresponde a la imagen de las caras alabeadas que forman el arco. El principio estructural que rige este edificio se basa en el de las alas de un avión o en el de los mástiles de veleros: una cáscara envolvente, resistente y vacía.

La construcción se resolvió a base de piezas prismáticas de unos 2 metros de longitud (6'5 pies) con las aristas ligeramente curvadas, siguiendo el trazado de la catenaria. Estas piezas se montaron como un mecano de elementos prefabricados. Saarinen estudió bastante el sistema constructivo ya desde la fase del concurso; que consistió en el uso de torres grúa para una primera parte (hasta los 72 pies del suelo) y, a medida que se debía construir a mayor

altura, hubo que usar grúas auto-trepantes por el propio edificio. A partir de los 530 pies se colocó un tornapuntas que contrarrestara el empuje lateral debido a la inclinación, y no fue suprimido hasta haber colocado la última porción de arco y éste entrara en carga.



Dos vistas de la colocación de las últimas piezas.

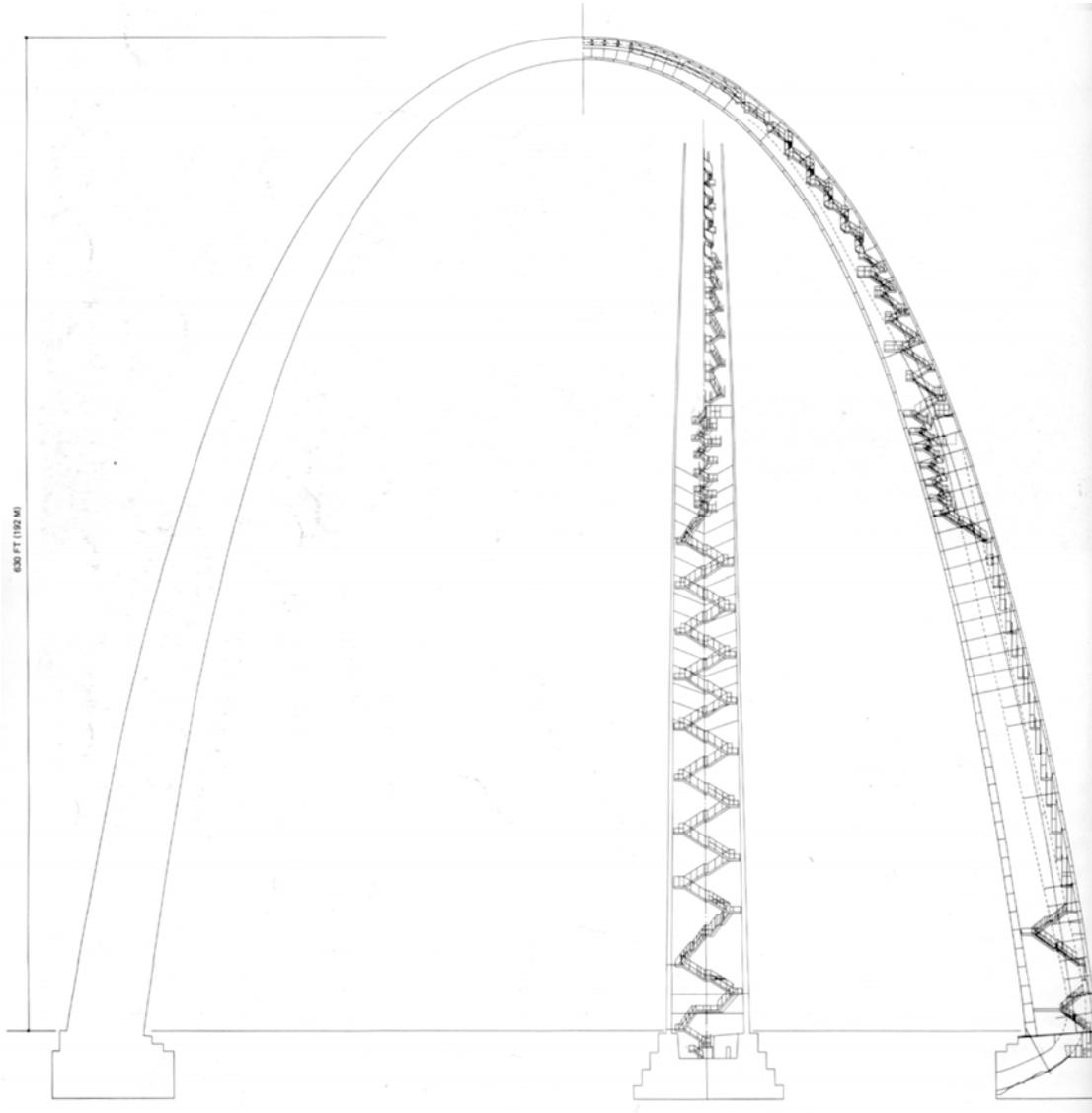
Estas piezas, vacías por dentro, se construyeron con una doble piel que permitió variar el grosor del caparazón portante, de manera que en la base tiene más de 90 cm de espesor y en la parte superior no llega a los 20 cm. Las dos caras de este doble muro son distintas entre sí. La exterior, de poco más de seis milímetros de espesor, es de plancha de acero inoxidable, dando una imagen de perpetuidad y fortaleza al monumento, mientras que la plancha interior es de acero y tiene un espesor de casi dos centímetros.

La variación en el grosor total del cerramiento portante es un recurso para aligerar la parte alta del arco, como también lo es la reducción de la dimensión de la sección del arco. En este mismo sentido hay que añadir un tercer recurso: en la parte inferior, hasta los 300 pies de altura, el doble muro está relleno de hormigón armado con barras pretensadas de acero; mientras que más arriba, hasta los 630 pies de la cima, se insertaron rigidizadores de acero entre las dos paredes.

Para afrontar las acciones de los fuertes vientos y de posibles seísmos, la parte superior del arco se diseñó para poder admitir oscilaciones de hasta 18 pulgadas (unos 45 cm). El resultado es un edificio con dos partes muy diferentes en peso, medida y construcción; pero la continuidad de su forma y sobretodo de su recubrimiento metálico hace que se perciba como una sola pieza.

En definitiva, el edificio se apoya sobre tres principios estructurales básicos para conseguir su estabilidad: la forma catenaria de su trazado como figura natural autoportante, la forma triangular de la sección para todo el edificio como única figura plana indeformable y la forma tubular de esta misma sección que asegura el mejor comportamiento posible del conjunto ante las posibles deformaciones por el pandeo.

La circulación interior por el edificio está resuelta por escaleras que van cambiando de orientación y desarrollo y, mecánicamente (con un sistema entre el ascensor y la vagoneta de tren que va adaptándose a las distintas pendientes del hueco). Esto permite el acceso de visitantes que pueden tener una vista privilegiada del extenso valle del río Missouri.

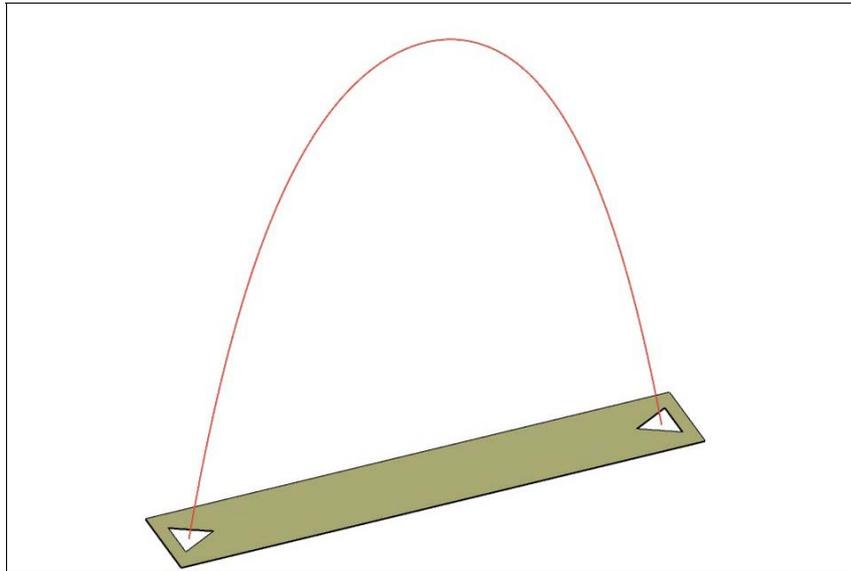


Alzados lateral y frontal de las escaleras que adaptan su desarrollo a la forma de la cavidad interior del arco desde los arranques a la clave.

Se puede concluir que es en la forma donde se condensa todo el esfuerzo del diseño y la que expresa sus valores arquitectónicos. Y este esfuerzo tiene como objetivo la resolución de problemas de estabilidad, de encuentro de materiales y de sistema de montaje, problemas constructivos y estructurales que son, en esencia, problemas de arquitectura.

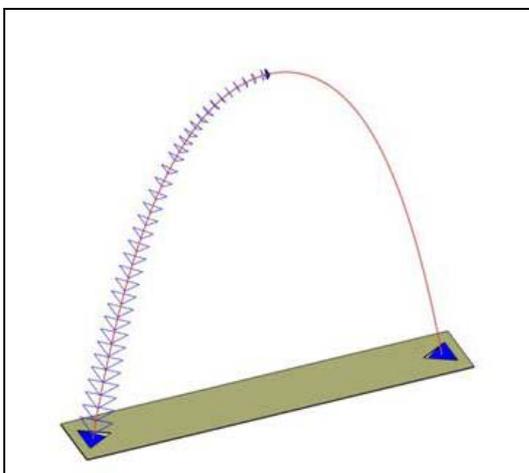
Análisis geométrico

Ya se ha descrito la forma general del arco como catenaria. Esta figura es la que toma un elemento lineal sometido a una carga uniformemente repartida por toda su longitud como, por ejemplo, la carga de su propio peso. En este caso el peso propio no es constante en toda la longitud del elemento puesto que, tal como se ha descrito en los párrafos anteriores, la parte central es más ligera por el tipo de construcción, por tener la envolvente más delgada y porque su sección triangular es mucho menor que la de los apoyos.

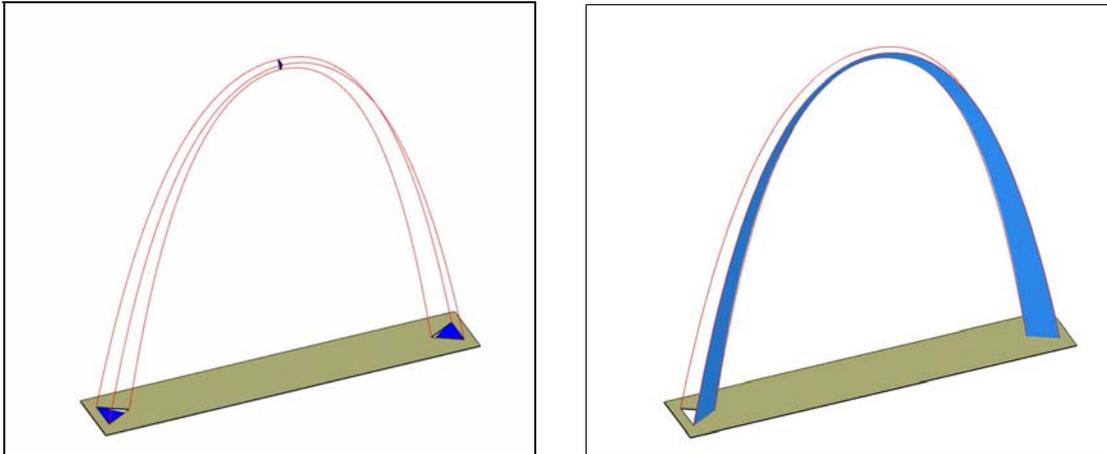


Si tomáramos un elemento de estas características y lo sujetáramos por los extremos, manteniéndolos a una distancia fija, la curva que dibujaría sería la de una catenaria más redondeada que si el elemento fuera de peso constante en toda su longitud. La forma está directamente relacionada con las características materiales de la obra y busca en su trazado reducir los esfuerzos de flexión. En la catenaria toda la sección del elemento trabaja a compresión y es la forma natural de soportar un peso y transmitirlo al suelo.

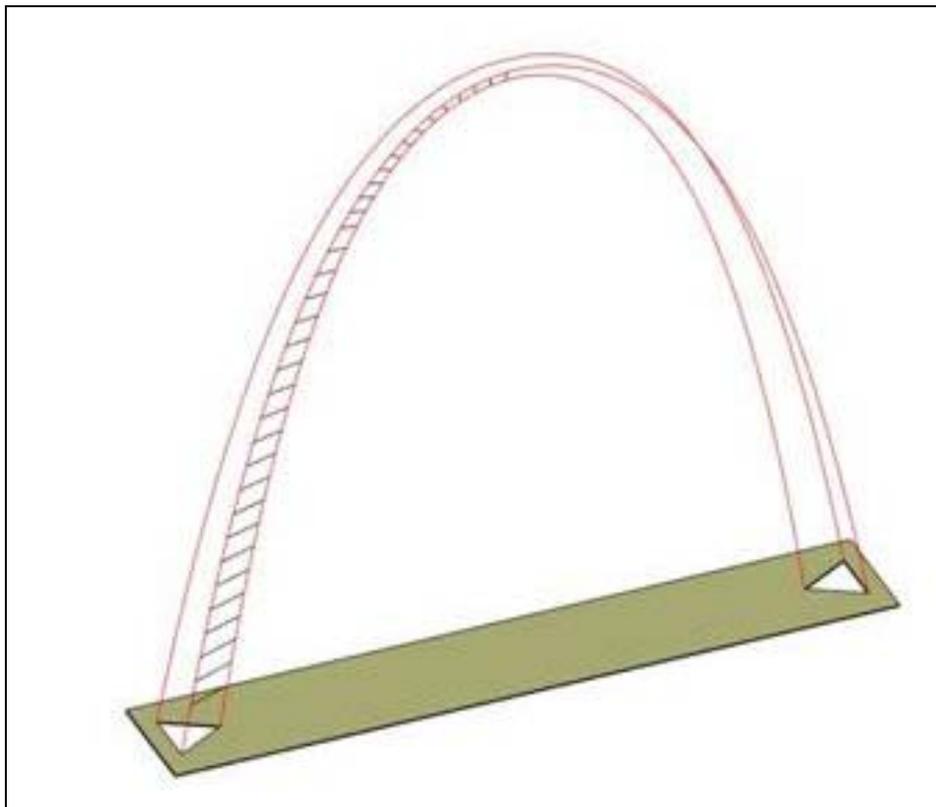
La transformación de la sección triangular de las bases hasta la sección triangular vertical en la clave del arco origina, en este edificio, una superficie continua de transición y por ello es objeto de atención aquí. Desde el lado exterior del triángulo de la base hasta el lado exterior del triángulo de la clave se genera una superficie cilíndrica de directriz catenaria, fácil de comprender.



Desde cada lado interior del triángulo en el suelo hasta su correspondiente lado interior de la sección superior, se genera una superficie alabeada algo más compleja.

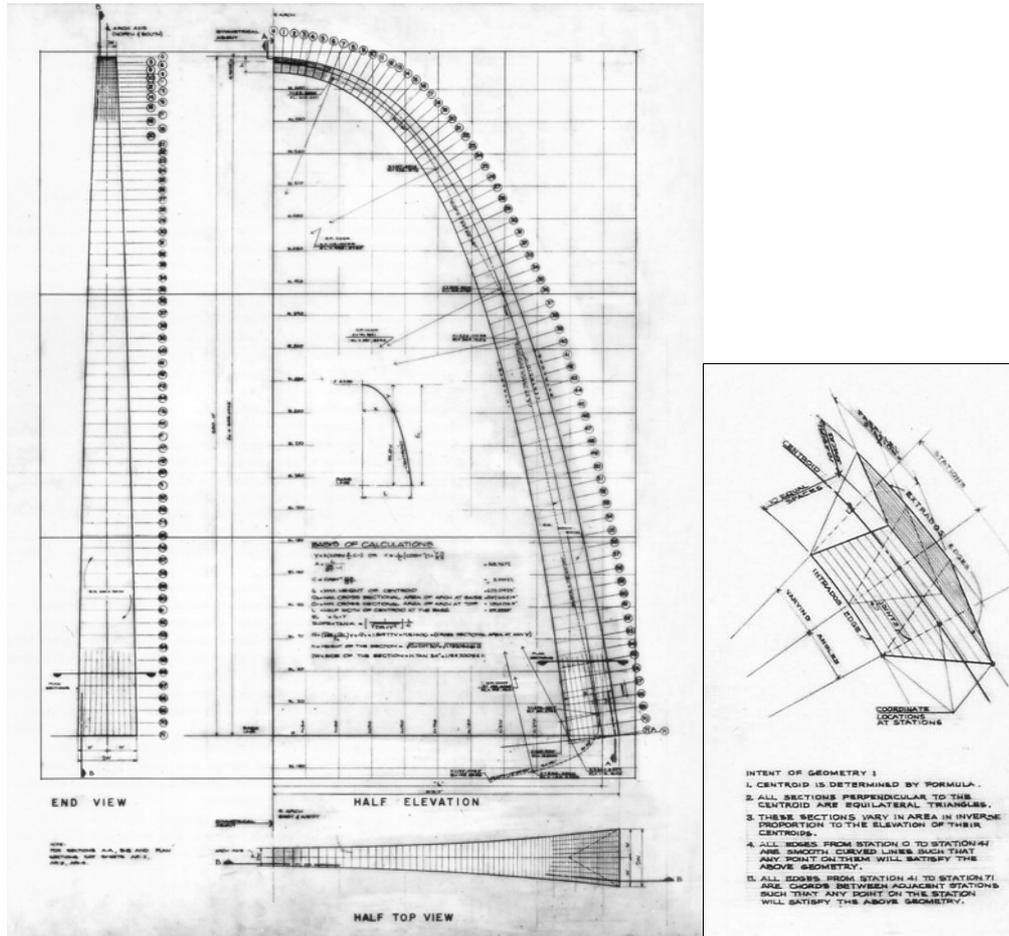


Esta superficie alabeada es claramente una superficie reglada ya que cada uno de los fragmentos constructivos que la componen tiene los límites rectilíneos y esto permite que la junta entre fragmentos consecutivos sea recta. Un criterio constructivo – la unión entre piezas que además tienen un recubrimiento de plancha metálica- lleva a que esa superficie alabeada sea necesariamente una reglada. Una reglada que queda definida por dos curvas directrices y una familia de rectas entre ellas. Las dos curvas son la arista interior (el intradós del arco), que es de plano vertical, y una de las dos aristas exteriores que es una curva tridimensional.

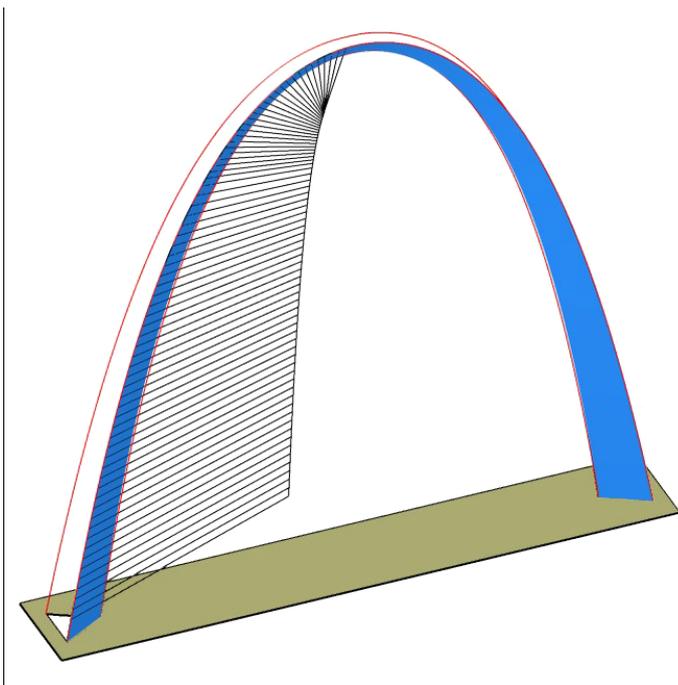


En cuanto a la familia de rectas que configura la superficie propiamente, hay que recurrir al alzado para explicar cuál es la ley que la determina. En esta proyección se definen los cortes transversales del arco que delimitan los fragmentos de la construcción. Estos planos cortan el arco en triángulos equiláteros y su orientación es

perpendicular a la línea que pasa por el centro de todas esas secciones transversales (esta línea, que es la catenaria inicial del diseño es el centroide de la figura). Así se explica en un detalle axonométrico del elemento unitario.



Alzado, lateral donde se ve que las aristas laterales no son curvas planas, alzado frontal donde se detallan todas las secciones perpendiculares a la línea centroide y planta. Al lado el detalle axonómico describe la geometría de una porción de arco y el centroide.



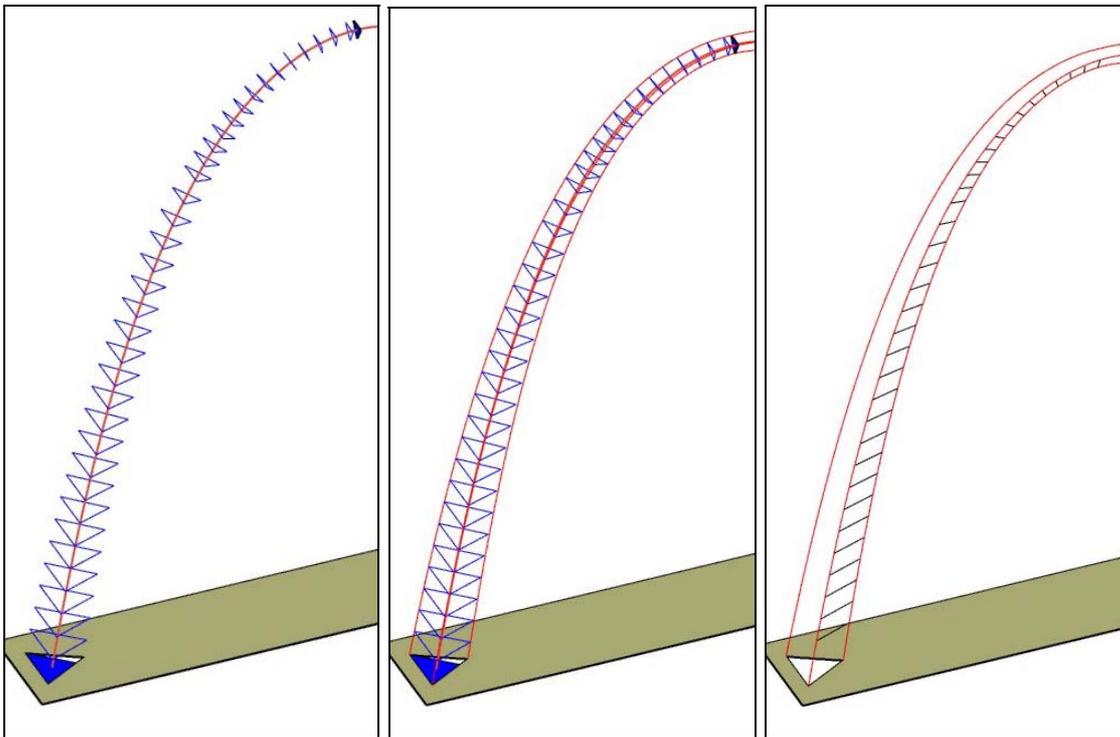
Reglada extendida hasta el plano vertical de simetría.

Toda superficie reglada se construye en base a tres elementos que son sus leyes geométricas, las directrices; en este caso quedan claramente definidas las tres: dos de ellas son las ya descritas y determinadas por las aristas del intradós y del extradós y la tercera es la ley que define el movimiento de la recta generatriz, o lo que es lo mismo, la ley que determinan las parejas de puntos en los que se apoya la recta desplazada entre las dos primeras.

En este caso la familia de planos que definiría los segmentos cumple la condición de ser perpendicular a la línea centroide del arco. Esta es la tercera directriz aunque no se trata de una figura geométrica sino de una condición en relación a una línea de partida.

Se da la circunstancia, y no hay que perder esto de vista, que las dos primeras directrices, son líneas que derivan también de la definición de los planos perpendiculares al centroide. Por lo tanto esta familia de planos normales a la catenaria original no es únicamente una condición de la reglada, sino que es previa a la definición de los triángulos y por tanto de las tres directrices.

La secuencia lógica de la formación geométrica de estas caras es por lo tanto: definición de los planos normales al centroide, formación de los triángulos equiláteros que van configurando las tres superficies y, como consecuencia, quedan determinadas las tres aristas.



La definición de la geometría de las caras del arco parte de los triángulos perpendiculares al centroide hasta llegar a las superficies regladas.