

SUPERFICIES DE LAS FORMAS DE TRANSICIÓN.

Las superficies que cada manera de resolver una forma de transición genera son la materia prima del trabajo y de este análisis, son la unidad básica con la que se componen las formas. Estas superficies pueden ser, según su grado de complicación ante la construcción material –que es en definitiva lo que interesa a la arquitectura- de cuatro grandes familias: planas, desarrollables, alabeadas o cóncavas.

Desde una perspectiva puramente geométrica estos cuatro tipos de superficies se clasificarían en función de las tangencias con un plano por uno de sus puntos: superficies planas (en las cuales un plano tangente por un punto cualquiera es el mismo plano), superficies de puntos parabólicos (en las que un plano tangente por un punto lo es en toda una línea de la superficie), de puntos hiperbólicos (en las que el plano tangente por un punto corta la superficie) y de puntos elípticos (cuyos planos tangentes por un punto contienen sólo ese punto).

Para ser rigurosos hay que precisar que de estas cuatro posibilidades de tangencia se pueden presentar más de una en la misma superficie geométrica. Sería más preciso decir que una superficie puede tener puntos elípticos, puntos parabólicos y puntos hiperbólicos, o bien ser un plano. Pero insistiré en que el interés es llegar a hablar de las superficies desde sus cualidades arquitectónicas más que desde sus características geométricas, y ver si ambos aspectos pueden llegar a encontrarse.

Es por ello que he querido distinguir los grupos de superficies en función de su incidencia en los procesos constructivos y hacer ver que incluso la propia superficie puede cumplir leyes que no se ajustan a la relación puramente geométrica de sus líneas sino a esos procesos constructivos y que, en ocasiones, esos mismos procesos se encuentran en los dibujos.

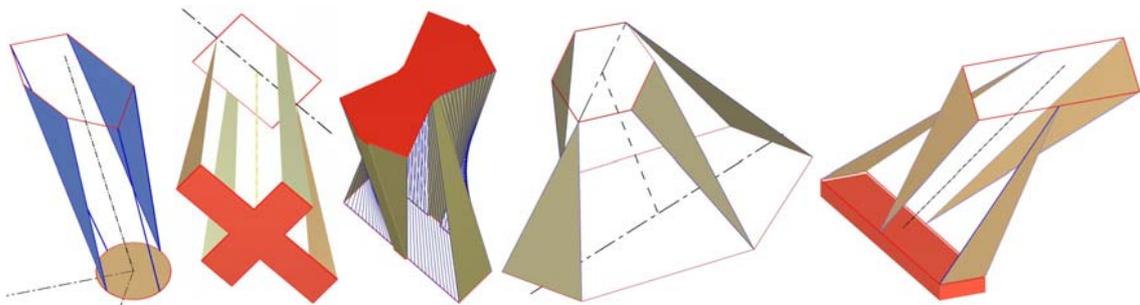
Los casos escogidos contienen preferentemente superficies alabeadas porque la selección inicial ya ha discriminado en ese sentido los ejemplos estudiados, pero se ha querido no aislar unas superficies de otras por entender el problema arquitectónico en toda su magnitud y las superficies alabeadas han sido sólo una excusa para cribar los numerosos casos que podrían incluirse como transiciones.

La diferencia esencial entre estos cuatro tipos de superficies, enumerados más arriba, es la implicación que la forma tiene en la solución constructiva y después de esta reflexión quedará expuesta la idea de que son las mismas diferencias que hay en cómo se deben manejar para su control gráfico, en cómo se dibujan.

Superficies planas

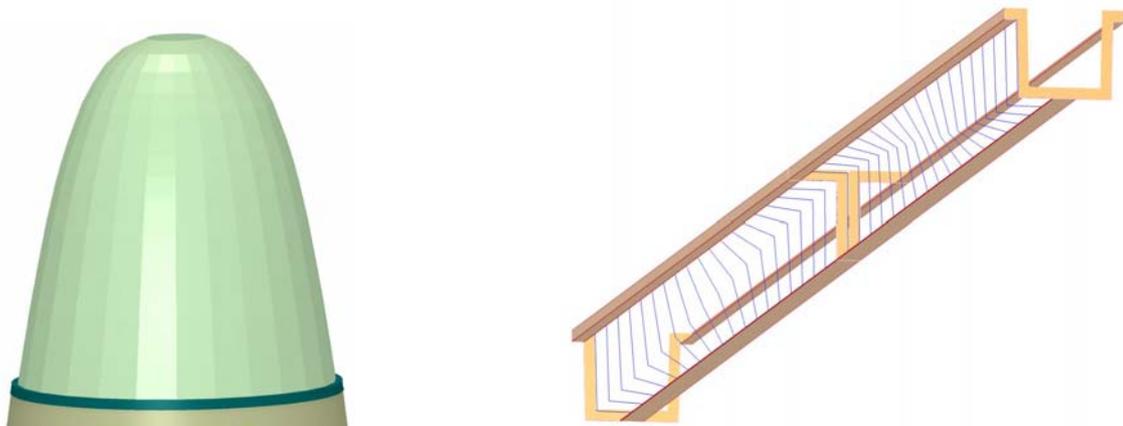
El análisis de las superficies planas se pasa a menudo por alto por considerar sus cualidades demasiado obvias. La construcción pone en su lugar la importancia que tienen cuando por ejemplo aparece el cristal como material; o cuando las caras planas pueden descomponer figuras más complicadas para abaratar costes en la formación de prefabricados o encofrados. El gran campo de trabajo de superficies con esta geometría está en las láminas plegadas que traducen formas complejas en la combinación de elementos planos. En este trabajo han aparecido, de una manera colateral ejemplos, por formar parte de edificios que han suscitado el interés por otros motivos, por ejemplo la cubierta plegada de la sala de asambleas de la UNESCO.

Se ha visto cómo este tipo de superficies se utilizaban en los pilares de Nervi para fragmentar el fuste en varias caras; y puesto que un plano queda determinado por tres puntos de una forma unívoca, basta con una arista y un vértice exterior para determinarlo. Las caras triangulares o rectangulares de esos pilares ayudan a fragmentar la caja de encofrado.



En la torre Agbar de Nouvel aparece el plano como problema constructivo de la cúpula que remata el edificio. Inicialmente fue diseñada como una jaula de líneas meridianas y líneas paralelas que definían celdas alabeadas. Las líneas directoras de la forma servían para plantear una envolvente general pero hubo que corregir la definición de esta cúpula inicial para convertirla en un poliedro. Cada cara de cada celdilla hubo que determinarla por tres puntos para asegurar que se trataría de un plano perfecto donde encajar el cristal. El cuarto punto es consecuencia de la situación de los tres primeros.

Las caras planas de algunos elementos que se describen de manera individualizada en los capítulos anteriores, aparecen como consecuencia de la resolución de la forma entre los extremos fijados, como en las costillas del intradós de Sydney en las que aparecen caras planas porque en las secciones extremas se determinan unas variables y unos segmentos fijos. Estos elementos fijos, si son rectilíneos, generan planos y facilitan el control sobre la forma general.



Superficies desarrollables

Las superficies que pueden construirse a partir de un plano doblado o plegado se adaptan muy bien a los procesos constructivos de la arquitectura, puesto que se pueden construir con elementos laminares recortados según una silueta precisa. Por lo tanto serán superficies muy adecuadas para procesos que incluyan la prefabricación de piezas seriadas, o que requieran el uso de moldes como es el caso de los encofrados en la construcción en hormigón.

Las superficies poliédricas y las plegadas también son desarrollables pero se pueden fragmentar en caras planas y se incluirían en el primer grupo. A este segundo corresponden las caras curvas que se pueden desarrollar.

Para que una superficie curva sea desarrollable es necesario que sea reglada y que sus generatrices o bien se corten en un punto o bien sean paralelas. Estas dos opciones llevan inmediatamente a pensar en las dos superficies radiadas: el cono o el cilindro, que son desarrollables y todas sus generatrices se cortan en un mismo punto, o son paralelas (es decir que se cortan en un punto impropio). En estas superficies, dos cortes transversales hechos por un mismo punto pueden dar una curva o una recta y el plano tangente por cualquier punto de la superficie es tangente en toda una recta generatriz.

Aparecen conos en el pilar del Secretariado de la UNESCO y en la cubierta de la catedral de New Norcia. También en la TWA algunas partes de la superficie se definen por porciones de cono, para conseguir un control geométrico de la forma escultórica.

En la torre Agbar, la parte superior del muro de hormigón está formada, en proyecto, por superficies troncocónicas y la parte inferior por cilindros. Podría ser que no se tratara de un cono ni de un cilindro. Es decir, que una pareja de generatrices de la superficie muy cercanas se corten en un punto pero otra pareja se corten en otro punto. Para comprender este tipo de geometría se puede pensar que cada pareja de rectas formaría una porción de cono, pero cada una de ellas con la siguiente formaría una porción de otro cono y así sucesivamente. Si las rectas son infinitamente juntas la superficie es igualmente desarrollable pero no se trata de un cono. Aunque, como se ha explicado, esto es el modelo teórico que define el dibujo en proyecto; otra cosa es la construcción real del edificio que ha modificado su geometría real por el empeño en reutilizar los mismos moldes en toda la altura del muro.

Si nos fijamos en la cúpula de esta torre, cada cara del poliedro de cristal es un trapecio, y por tanto, las dos aristas meridianas consecutivas son coplanarias, y se cortan en un punto que es exterior al poliedro. El reparto de planos meridianos, tal como se ha explicado en el capítulo correspondiente, no es radial al arco del óvalo por lo cual dos parejas consecutivas de estos arcos meridianos se cortarán en puntos distintos. En consecuencia la porción de poliedro comprendido entre dos arandelas horizontales paralelas es desarrollable por ser un conjunto de caras planas con aristas comunes. Si los arcos meridianos fueran infinitamente próximos esta forma sería a una superficie curva continua y se trataría de una superficie desarrollable distinta para cada tramo entre aros paralelos.

No se puede dejar de hacer referencia, en este trabajo, a un tipo de superficies que, en los libros de geometría descriptiva aparecen como superficies de transición: las convolutas. En ninguno de los casos estudiados aparecen estas regladas, pero en algunos podría haber sido una solución al problema de la transición. Quizá el hecho de que se trate de superficies usadas en la industria metalúrgica para la fabricación de piezas de conducción de fluidos, ha apartado la atención de los arquitectos de este tipo de superficies. Pero son, por definición, superficies regladas que resuelven de una manera continua una forma entre dos siluetas diferentes preestablecidas. Su interés constructivo reside en la posibilidad de recortarlas sobre un plano.

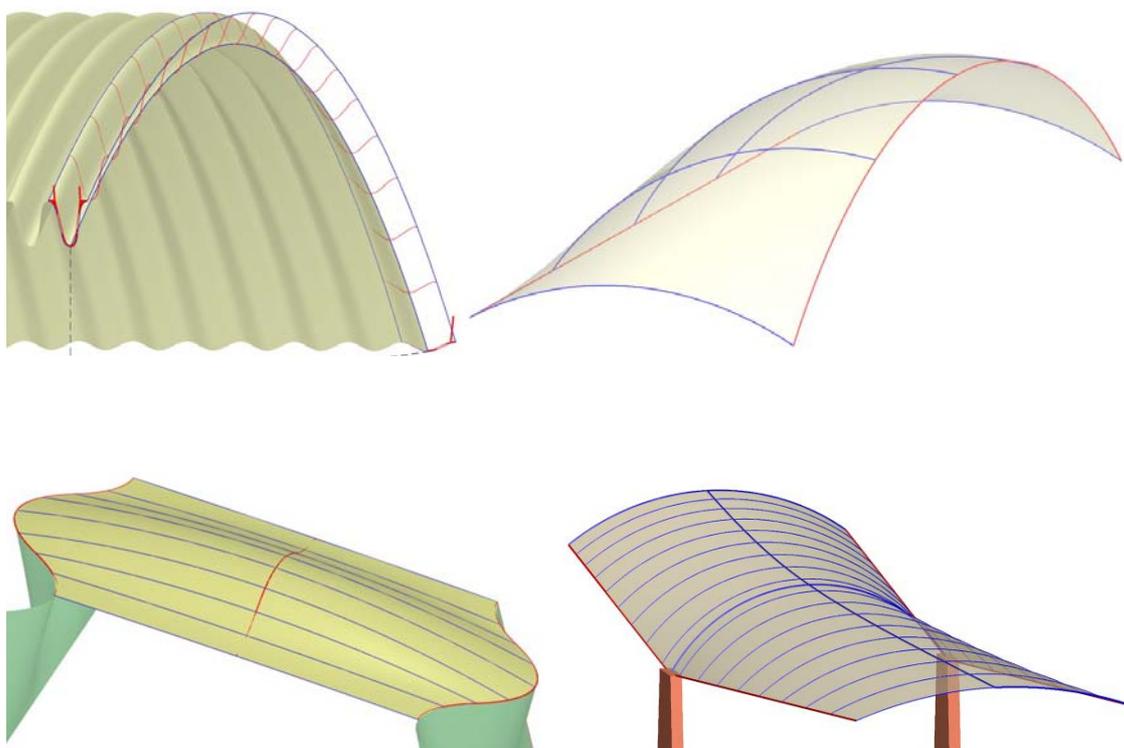
Estas superficies se plantean como cambio entre dos líneas curvas que son directrices de la superficie, de tal manera que las generatrices están determinadas por el plano que sea tangente a ambas curvas a la vez.

Una cualidad importante en las superficies regladas desarrollables es precisamente que el plano tangente por cualquiera de sus puntos lo es en toda una recta generatriz. Esto equivale a decir que en cualquiera de sus vistas su silueta -su contorno aparente- es una recta. También quiere decir que expuestas a una luz la línea que separa la parte en sombra de la parte iluminada es una recta.

Superficies alabeadas

Estas superficies, que han sido expresamente buscadas en este trabajo como tema de estudio concreto, han servido para identificar los temas que se quieren poner en evidencia. Geométricamente las superficies alabeadas son aquellas que tienen doble curvatura de tal manera que dos secciones perpendiculares por alguno de sus puntos producen líneas cuyas curvaturas son de sentidos opuestos¹.

Por esto hay vistas de estas superficies que ofrecerían una imagen delimitada por un contorno aparente curvo aun tratándose de superficies construidas a base de rectas, como un paraboloides de cualquier pilar estudiado, o a base de arcos como la cubierta de los talleres de ferrocarriles búlgaros en Russe, o la cubierta de Atlántida o la marquesina de la Zarzuela que, aun partiendo de la idea del hiperboloides reglado, acaba siendo el movimiento de una arco de circunferencia por una hipérbola, pero en cualquier caso es claramente una superficie alabeada.



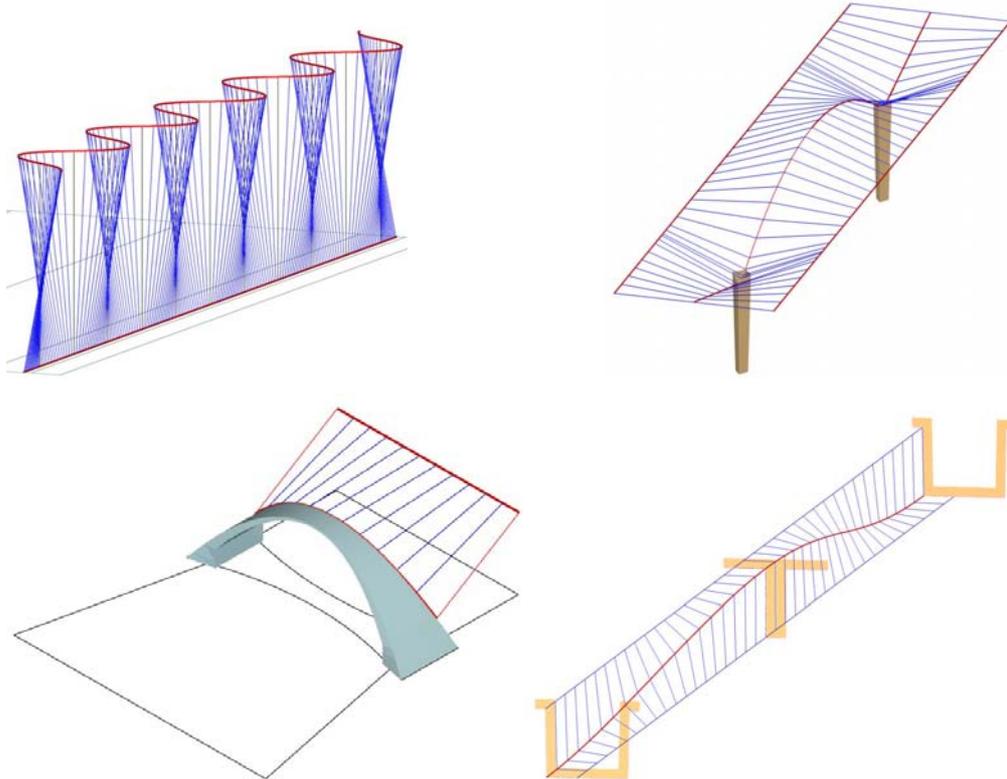
Si estas superficies son regladas, como lo son la mayoría de los casos construidos, reducen su complicación geométrica puesto que parten de un elemento simple cuya traducción en la construcción es literalmente un elemento rectilíneo.

Cada superficie alabeada que ha aparecido como consecuencia de las formas de transición es en sí misma una forma de transición y por esto ha tenido doble interés su análisis como elemento abstracto. Una superficie alabeada pensada como forma de transición nace de la idea del movimiento continuo de una recta apoyada sobre dos líneas. Este planteamiento de partida tiene muchas soluciones posibles.

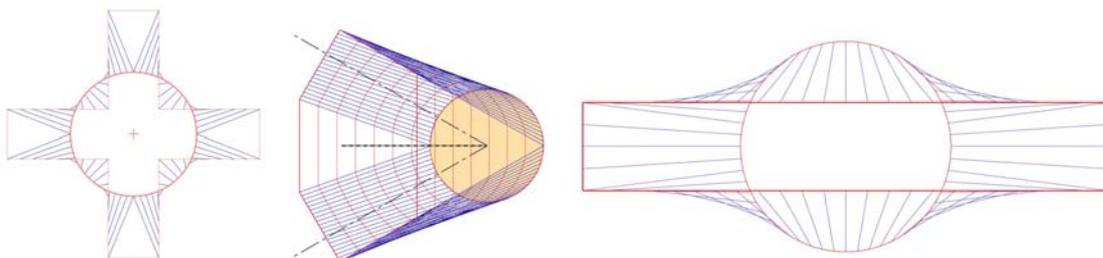
¹ En sentido estricto, las superficies cóncavas también tienen doble curvatura solo que éstas son de igual signo. Pero parece más gráfico hablar de doble curvatura cuando se trata de sentidos opuestos y mantener la idea de concavidad para las de igual signo.

Una superficie reglada alabeada queda unívocamente determinada por tres directrices. En los casos que se han estudiado siempre se parte de dos líneas, que son directrices de la superficie; por lo tanto siempre queda por determinar la tercera directriz. Es más claro describir esta tercera directriz como la tercera condición puesto que no siempre se tratará de una línea concreta o fácilmente identificable.

En los ejemplos aparecen casos en los que esta tercera condición es de índole geométrica. Como en los casos de conoides de plano director: la cubierta de Darmstadt, o el muro de Atlántida, o la viga de Sydney, o la marquesina de la Unesco. En todos ellos las generatrices se disponen paralelas a un plano (geoméricamente todas las generatrices se cortarían en una recta que está en el infinito, impropia, y es la recta común a todos los planos paralelos a esa orientación).



Pero también los hay que han utilizado como tercera condición una característica de tipo constructivo. Como los casos descritos en los que las rectas generatrices se apoyan en las dos directrices de partida y que se disponen repartidas sobre ambas de manera equidistante. Esta distribución de rectas no se corresponde con ningún modelo abstracto de figura geométrica sino con un principio constructivo, según el cual las líneas del listonado del encofrado tienen continuidad. Así son los casos de Turín, de New Norcia, o el del pilar de la sala de asambleas de la UNESCO.



En estos casos se podría haber encontrado una orientación del espacio paralela a las dos generatrices que definen los límites de la cara y hacer que el resto de generatrices se mantuvieran paralelas a esta orientación. Sin embargo, en estos casos es muy forzado encontrar la vista en la cual este plano queda proyectante y por lo tanto este recurso constructivo no siempre es operativo. Es más fácil, gráficamente, dividir en partes iguales los dos segmentos directrices y unir las parejas de puntos respectivos. Y además de ser una ventaja gráfica (tanto en el dibujo de proyecto como en el replanteo en obra) esta característica ofrece la posibilidad de que las rectas de la superficie sean continuas en toda la longitud del elemento, cosa que en los elementos de hormigón visto se traduce en una distribución controlada de la textura que deja el listonado del encofrado.

Hay que notar que en los paraboloides hiperbólicos la característica constructiva de reparto equidistante coincide –en cumplimiento del teorema de Tales– con la solución geométrica de plano director puesto que las generatrices de estas superficies dividen en partes iguales las rectas directrices. Pero gráfica y constructivamente es más lógico pensar que la distribución de rectas se ha hecho por equidistancias y no disponiéndolas paralelas a un plano, que a menudo no queda proyectante en las proyecciones diédricas básicas del elemento.

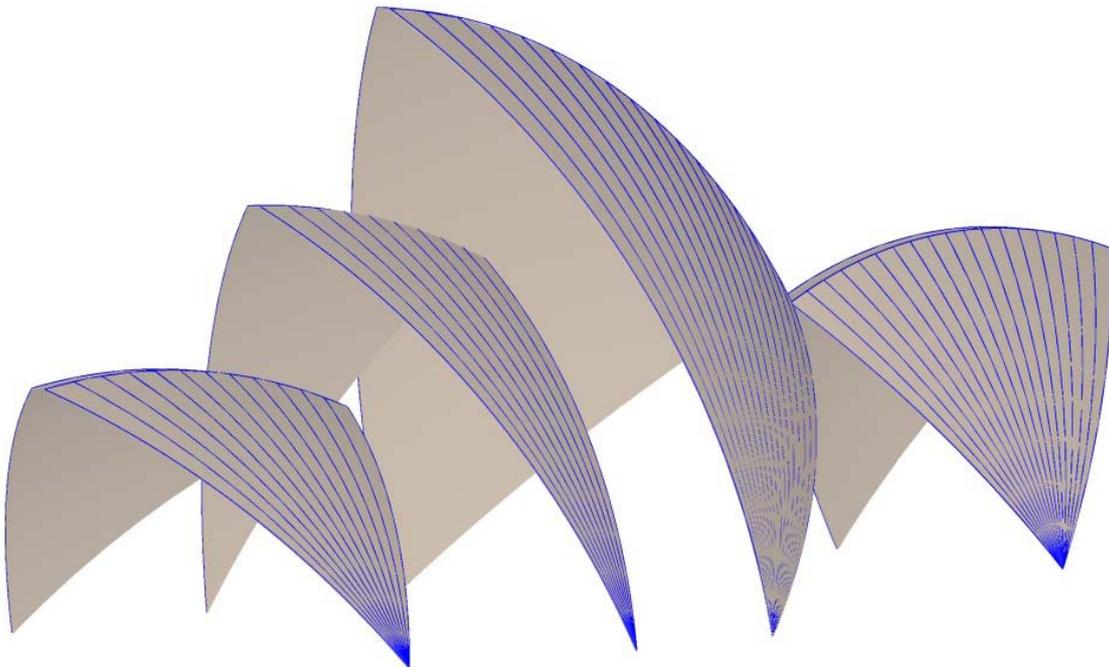
En estas superficies ocurre que hay proyecciones en las cuales el contorno aparente, su silueta, es curva. Y puede ser de interés la aportación expresiva que pueden ofrecer este tipo de figuras (algo muy bien aprovechado en los laboratorios Jorba, o en muchos ejemplos *nervianos*). Esta característica formal tiene otra implicación de gran interés y es el comportamiento de estas figuras bajo la luz del sol.

A diferencia de los planos estas caras pueden quedar parcialmente iluminadas por el sol por la que aparece una línea de sombra, o un degradado que expresa su curvatura. Es por esto que este tipo de superficies tienen una gran riqueza expresiva.

Superficies cóncavas

Por último unas superficies de un gran interés para la arquitectura. Estas superficies curvas tienen la particularidad de tener derecho y revés. De hecho se podrían distinguir entre cóncavas y convexas según desde qué lado las veamos. Este derecho y revés de la superficie tiene repercusiones en estabilidad estructural, en acústica, en la reflexión de la luz, o para la recogida de aguas entre otras muchas cosas. El gran inconveniente que tienen es la dificultad de construirlas.

La forma más simple en este grupo sería aquella que necesita menos datos para determinarse: la esfera. Esta virtud es la que atrajo a Utzon para idear las cubiertas su Opera House.



Otro edificio donde aparece algún fragmento cóncavo es la cubierta de la sala vaticana en los tramos que la parábola de la sección y la de la trayectoria son de igual signo en sus respectivas curvaturas; o la cubierta de Atlántida que tiene porciones cóncavas en las cumbreras de la cubierta ondulada.

También en la cubierta de los talleres de Russe, al generarse por el movimiento de un arco por otro arco, se construye una superficie que es parcialmente cóncava, aunque en muchos de sus puntos la doble curvatura es de sentidos opuestos.

La cubierta de la TWA también es una superficie cóncava, que busca en ese abovedamiento la estabilidad que necesita para soportarse en sólo cuatro puntos de apoyo. Tal como está definida en los planos del proyecto, una sección por cualquiera de sus puntos es una curva invertida.

La cúpula que remata el núcleo de hormigón de la torre Agbar también es una superficie cóncava que se dibuja por múltiples secciones paralelas para perfilar la silueta que se busca.

Todos estos casos se han resuelto de dos maneras: o bien son porciones de una figura geométrica conocida cuyas secciones (también conocidas) son las que se utilizan para trazarla en la obra o en el proyecto, o bien son figuras aleatorias cuyo control sólo se puede aproximar por el trazado de secciones múltiples.