

## GEOMETRÍA DE LAS FORMAS DE TRANSICIÓN.

El panorama de ejemplos presentados demuestra que la forma creada a partir de la transformación de una silueta a otra no es algo exclusivo de una época o de un entorno cultural concreto. Éste es un tema plenamente disciplinar de la arquitectura y por lo tanto aparece en cualquier época y permite entrar en el interior de la arquitectura de una manera abstracta.

En este tercer recorrido que se proponen ahora, se quiere centrar el foco del interés y el esfuerzo del análisis en los aspectos puramente geométricos, pero poniendo en el mismo plano de importancia todos los edificios, de tal manera que éstos sirvan para ilustrar los temas de estudio. La visión general puede poner en su lugar el papel de la geometría como herramienta usada, con más o menos inteligencia en los distintos casos, pero también debe servir para saber aislar las cuestiones más conceptuales y poder llegar a conclusiones útiles que puedan hacerse extensibles a otros ejemplos no recogidos aquí. Es preciso desligar la reflexión, por lo tanto, de las particularidades de cada caso concreto para centrarla en el plano abstracto de la geometría.

La primera tentación después del repaso por los elementos estudiados es la clasificación de las variantes que aparecen; pero este ejercicio no debe ser entendido como un objetivo del trabajo, sino como un medio para ordenar los conceptos. También hay que notar que, ante una clasificación de las figuras, es fácil confundir las formas de transición con las superficies que esta transformación puede llegar a generar; y hay que dejar clara la diferencia.

Entre, por ejemplo, una sección circular y una rectangular se desarrollará una forma de transición, y esta forma queda necesariamente definida y descrita por la frontera que la delimita: por su envolvente, que es un elemento superficial. Esta envoltura puede estar formada por una sola superficie o por varias de ellas acordadas por tangencia o unidas por aristas. Es fácil que en un intento de clasificación de las formas primeras se acabe haciendo un repaso a los tipos de superficies catalogadas ya, con mucho rigor, en los libros de geometría descriptiva o de geometría analítica.

No es objetivo de este trabajo confeccionar ningún tipo de catálogo de las superficies sino hacer evidente la utilidad de su conocimiento para el proyecto de arquitectura, y no solamente en el momento de elaboración del proyecto sino, sobre todo, en su fase ejecutiva.

Se puede establecer que hay diferentes formas de transición, según sean los motivos que las engendran, aunque, como en otros campos del conocimiento, esta ordenación no es estanca. Un mismo elemento, generado como transición, puede encajar en más de un tipo. Lo interesante es pues la reflexión que esto genera y no exactamente la propia clasificación o la filiación exacta de una forma concreta a un tipo. Es más, en la siguiente exposición de los tipos de transición se encontrarán ejemplos adscritos a más de una familia.

La distinción entre formas de transición y superficies que delimitan estas formas lleva a hablar primero de formas y pasar más adelante a la reflexión, de contenido más geométrico, sobre las superficies. Hay que recordar también, que el criterio de selección de los ejemplos incluía que en las formas de transición aparecieran superficies alabeadas, por tanto no sería riguroso concluir que las formas de transición generan siempre caras alabeadas o curvas.

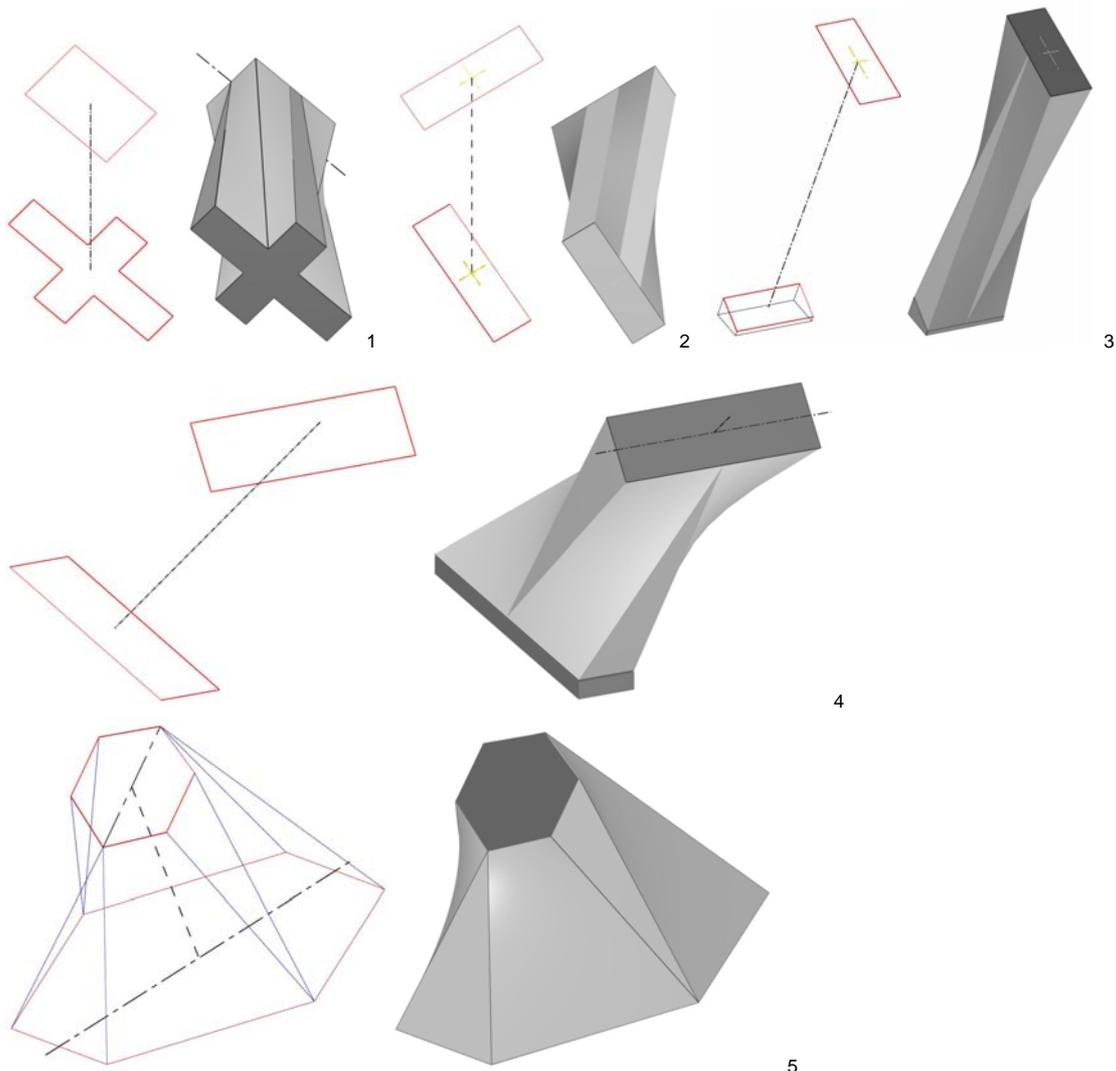
## ***Tipos de formas de transición***

### Extremos distintos

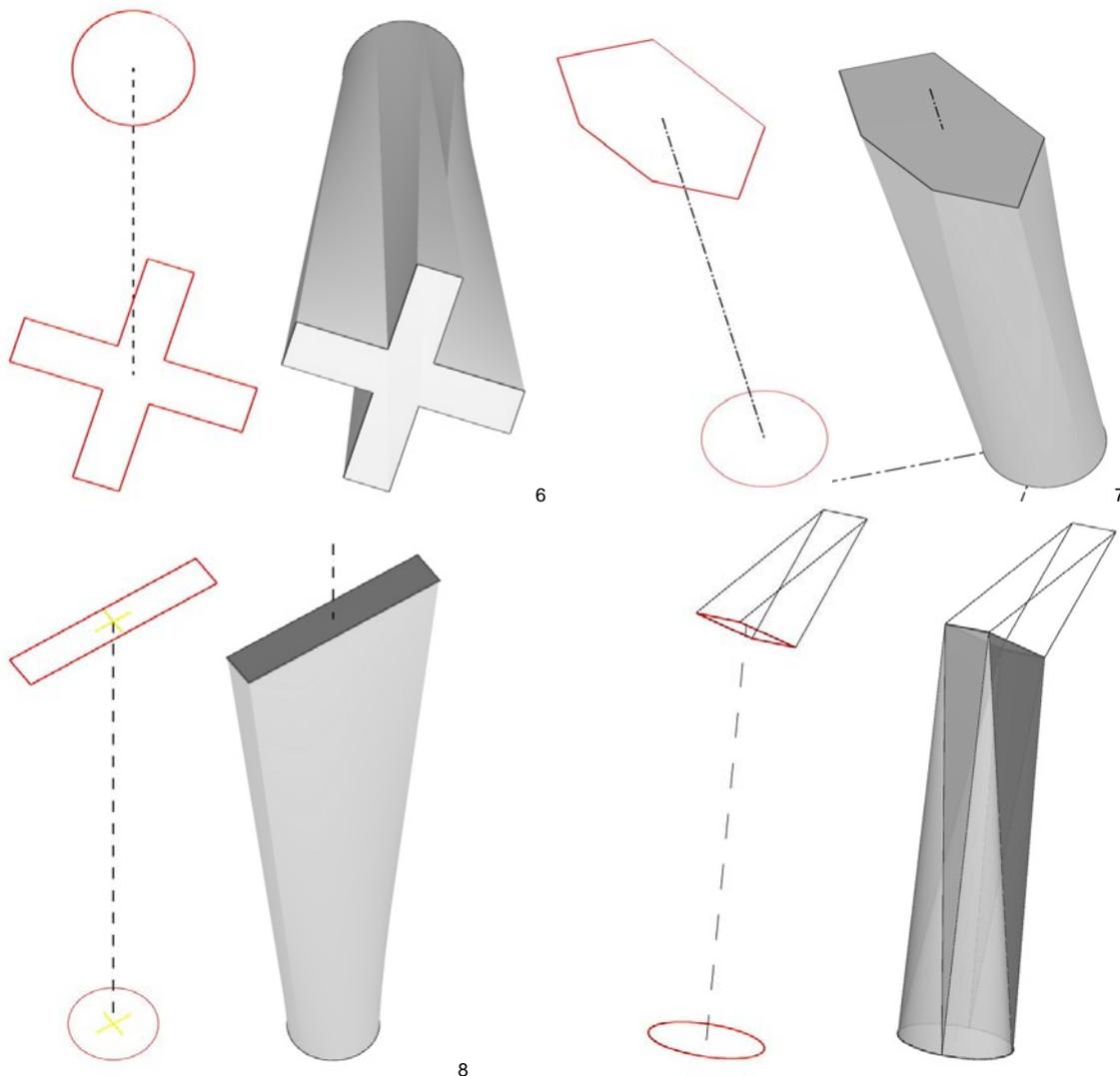
Todas las formas de transición, tal como se han descrito en la parte introductoria del trabajo, son, por definición, formas construidas entre dos siluetas diferentes y resuelven el cambio de una en otra. En algunos casos esto se corresponde precisamente con el modo en que se han generado estas formas. Es decir, el planteamiento de partida ha sido establecer, en el proyecto, que los extremos de un elemento son distintos.

Cada una de estas siluetas, generalmente una línea, cerrada o no, puede bien ajustarse a la dirección de apoyo de un pórtico (como en el caso de la forma de algunos capiteles); o bien la forma más adecuada para dar respuesta a un estado de cargas y unas flexiones, o plantearse como la línea curva que reduce los ángulos siempre incómodos en la construcción material. En definitiva, la forma de un elemento es la consecuencia, en primer lugar, de las figuras que tienen sus dos extremos y en segundo lugar de cómo se ha resuelto esa transformación.

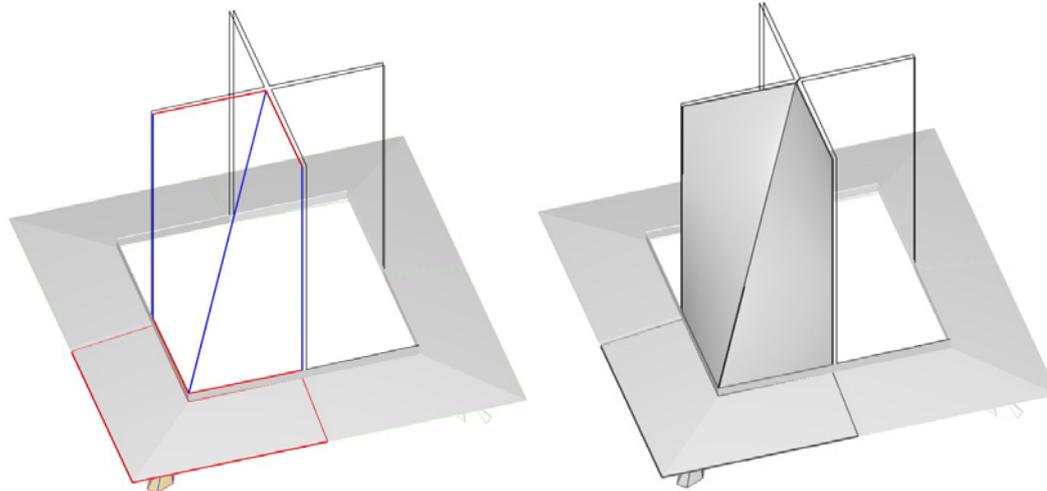
Muchos pilares diseñados por Nervi en distintos edificios se ajustan a este grupo de una manera literal como los del viaducto Corso Francia (1), los de la estación de Savona (2), los del Palacio de Deportes de Roma (3), la Sala Pontificia (4) o los de la catedral de San Francisco (5).



Asimismo los pilares del Palacio del Trabajo de Turín (6) o de la catedral de New Norcia en Australia (7); también los de la sala de asambleas (8) y del edificio del secretariado (9) de la UNESCO en París. En todos ellos la forma del pilar está condicionada, como factor principal, por la forma de sus respectivos extremos.

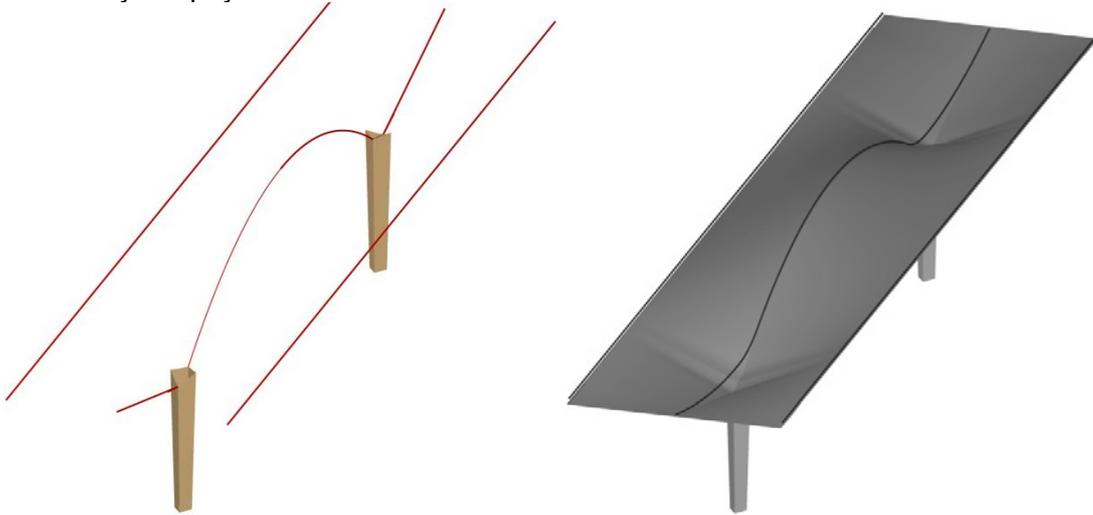


También alguna solución de cubierta responde a este planteamiento de extremos establecidos como punto de partida como la misma cubierta de San Francisco que resuelve el cambio de cuadrado a cruz (10).



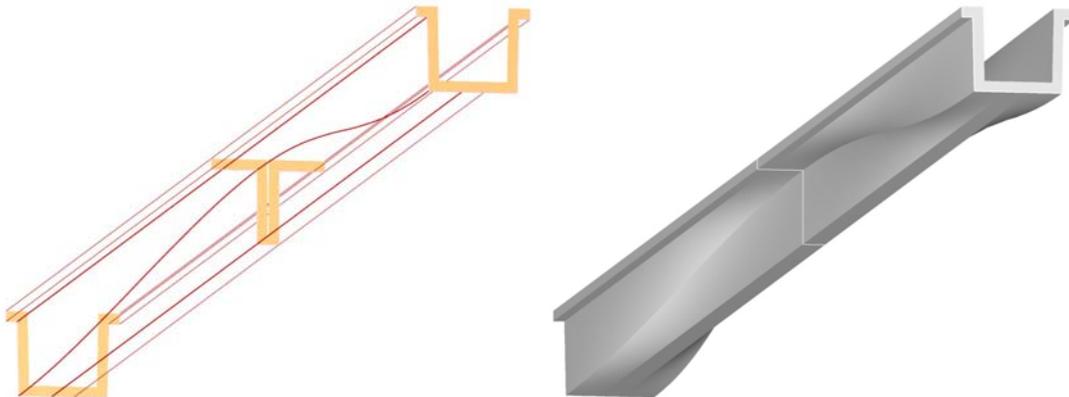
10

La marquesina de la nave de control de Darmstadt (11), que parte de dos líneas diferentes cada una adecuada al trabajo estructural distinto que hace el voladizo y el apoyo de una misma losa.



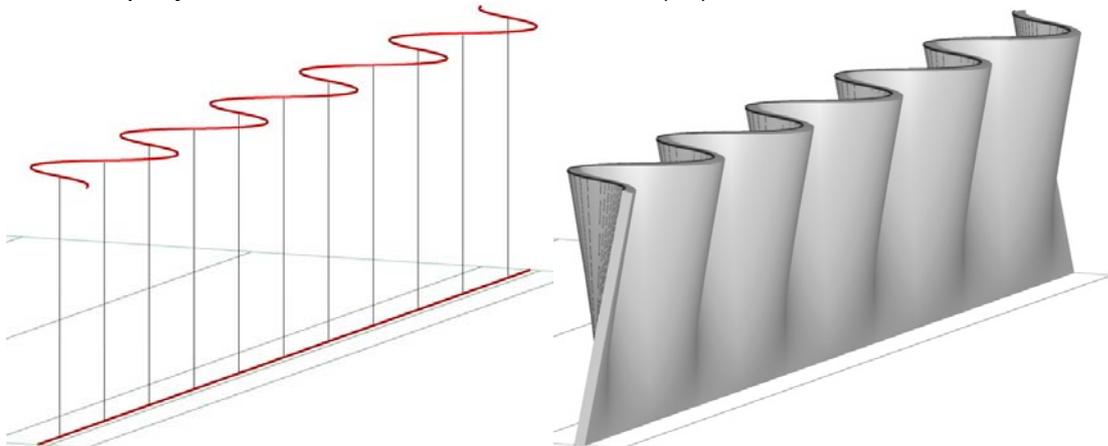
11

Y un caso paradigmático de este planteamiento es la forma de las vigas de la explanada de acceso de la Opera House de Sydney (12), cuya sección se adecua a las solicitaciones estructurales y funcionales en cada punto, de manera que tiene forma de "T" en el centro del vano y de "U" en los extremos.



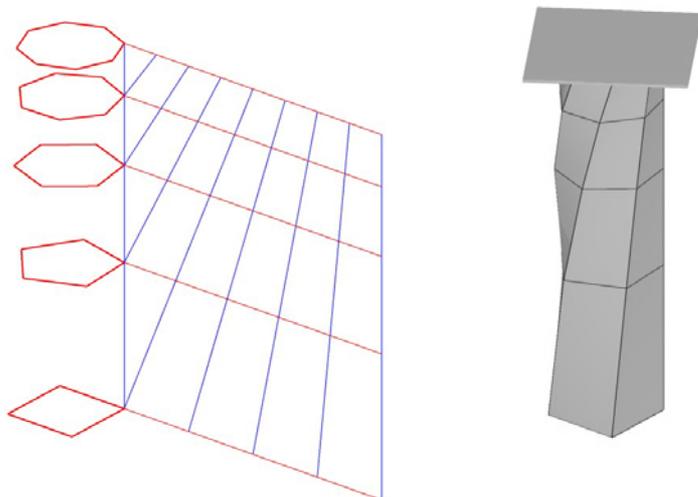
12

Los muros de la iglesia en Atlántida, de Dieste, deben su forma a que la línea de arranque y la de coronamiento son diferentes. (13).



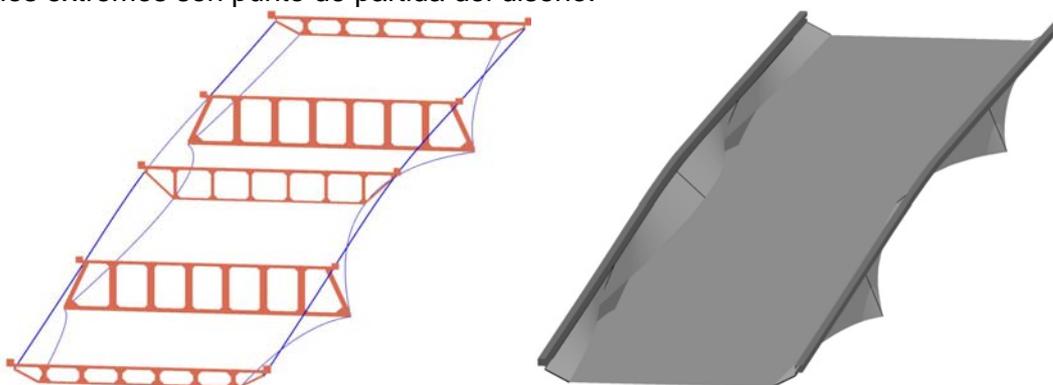
13

Por su parte la torre de San Isidro, de Alonso, también pone como premisa para la forma del edificio el hecho de que se generen unos polígonos regulares a unas alturas concretas, convirtiendo cada tramo de torre en un caso claro de transición condicionada por la forma de los extremos(14).



14

El puente del Risorgimento (15), en Verona, es un ejemplo de transición entre secciones diferentes: las extremas en los apoyos del tablero en cada ladera, las que corresponden al apoyo sobre los pilones y la sección en el centro. Cada tramo entre secciones consecutivas es un caso de transición que encaja en esta familia en la cual los extremos son punto de partida del diseño.



16

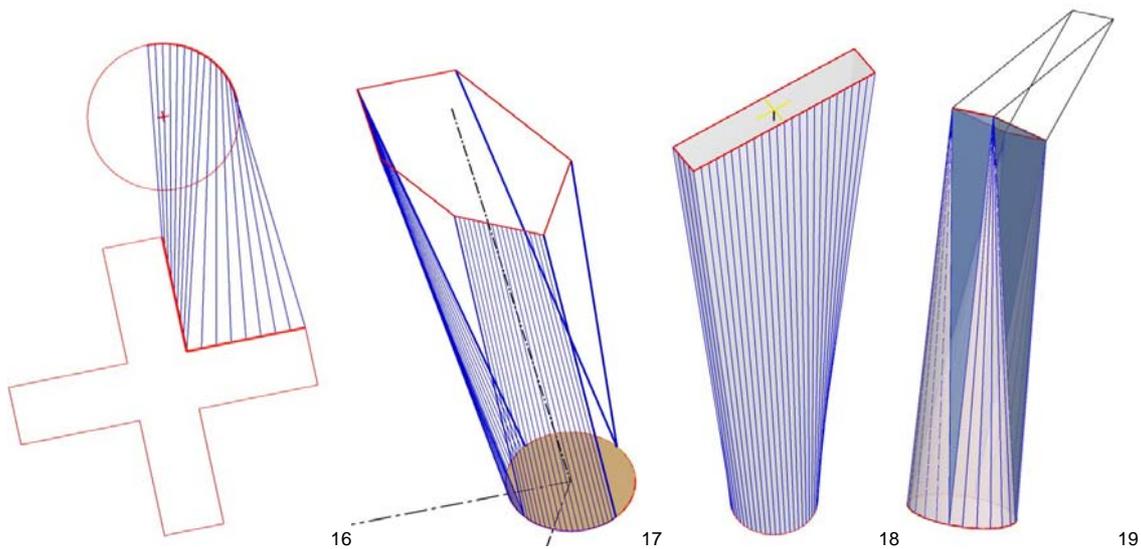
En todos estos casos, las secciones extremas condicionan la forma de las superficies resultantes y tienen una geometría o una generación propias en tanto que curvas o polígonos planos: rectángulos, elipses, cruces, hexágonos, rectas, sinusoides o polígonos irregulares que persiguen cumplir unas funciones determinadas. Una vez establecidos los extremos de los casos, que integran este amplio grupo, se pueden establecer dos maneras de resolver la forma del elemento.

Una (que podríamos calificar de primer grado) es la que considera los extremos como directrices de la superficie de la figura y la otra (de segundo grado) es más sofisticada en su diseño porque establece primero unas aristas longitudinales en el elemento que, al ser curvas, vuelven a plantear un problema de transición porque se convierten, a su vez, en nuevas directrices de la superficie que se construye.

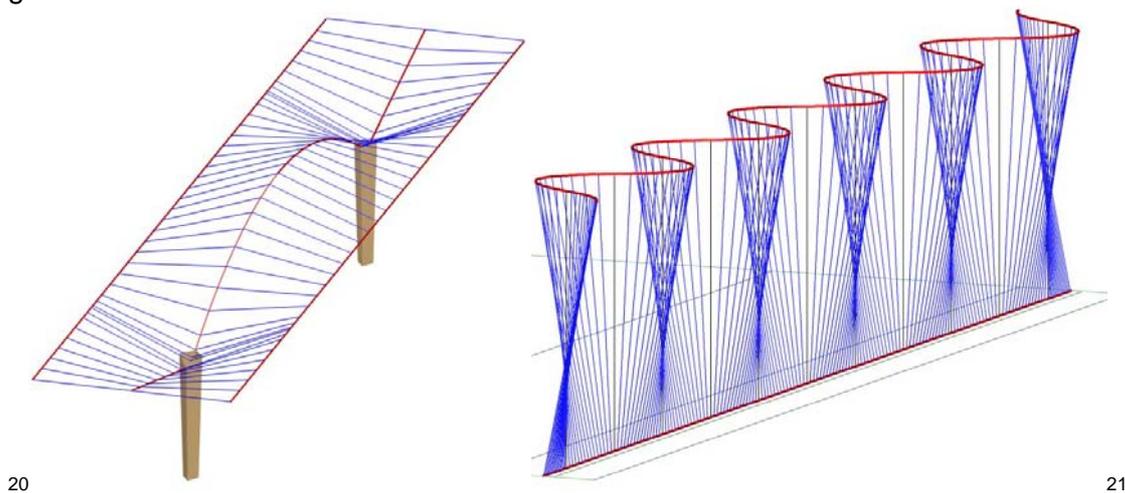
Si esas aristas longitudinales son líneas rectas y los lados de las dos secciones extremas también, entonces se forman cuadriláteros alabeados de lados rectos. En estos casos, es difícil distinguir qué lados son generatrices y qué lados son las

directrices de la superficie, porque los paraboloides hiperbólicos son de doble generación y por consiguiente no tiene sentido dilucidar a qué grupo corresponden. De hecho son un grupo de ejemplos ambiguos que podrían calificarse correctamente tanto de primer grado como de segundo grado.

Los casos en que aparecen líneas curvas sí han servido para entender las variantes que pueden aparecer y llevar a acabo el análisis. Por ejemplo: los pilares con uno de sus extremos curvos, como los de Turín (16), New Norcia (17), y los dos de la UNESCO (18 y 19); se resuelven por la construcción de superficies regladas, generadas por rectas que se apoyan en ambos extremos.

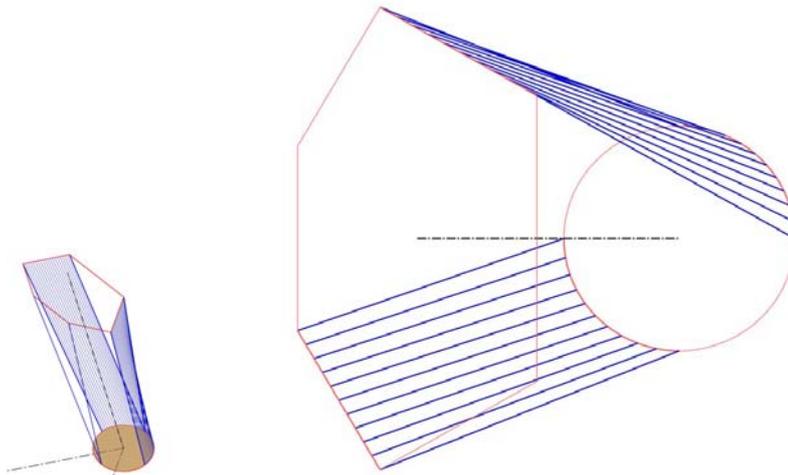


En la cubierta de Darmstadt (20), o en el muro de Atlántida (21) también se resuelve la transición en primer grado. La diferencia en la construcción de esas superficies respecto de las anteriores tiene que ver con la distribución de las rectas generatrices.

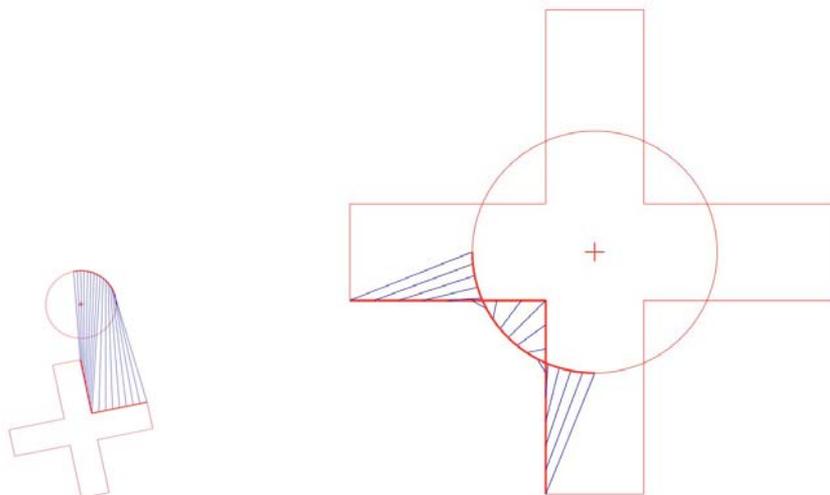


La distribución de estas rectas es el punto último del tema geométrico. En el análisis de cómo es esta distribución es donde está la clave de la importancia de toda la geometría implicada en estos ejemplos y donde se llega al nivel de máxima abstracción en al geometría constructiva.

En los pilares, la distribución es por reparto equidistante, es decir, cada directriz extrema se divide en el mismo número de partes iguales y de esta manera las rectas generatrices de la superficie cubren toda la longitud del fuste apoyándose en ambas aristas.

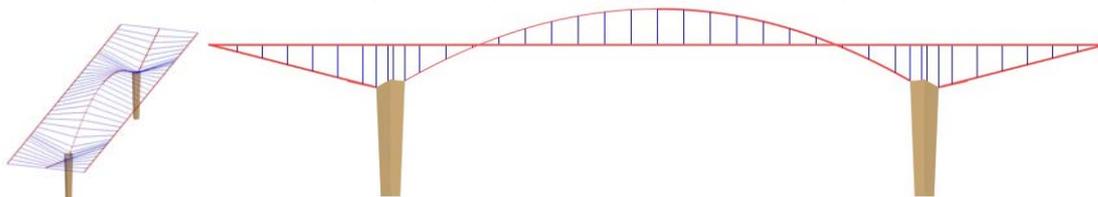


22

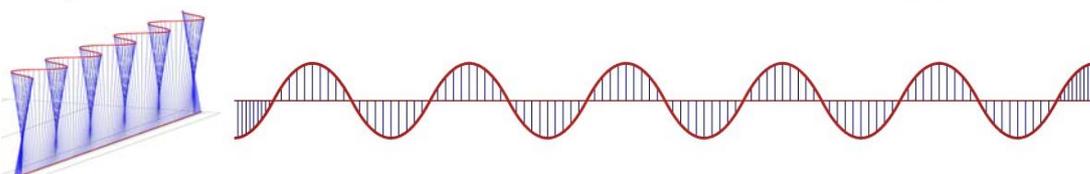


23

En cambio, en los ejemplos de Darmstadt y de Atlántida las rectas se mantienen paralelas a un plano imaginario (superficie de plano director). Estas soluciones tienen un mayor contenido geométrico y su ventaja está en que su control sobre el plano, sobre el dibujo, es mayor porque se pueden dibujar con menos datos.



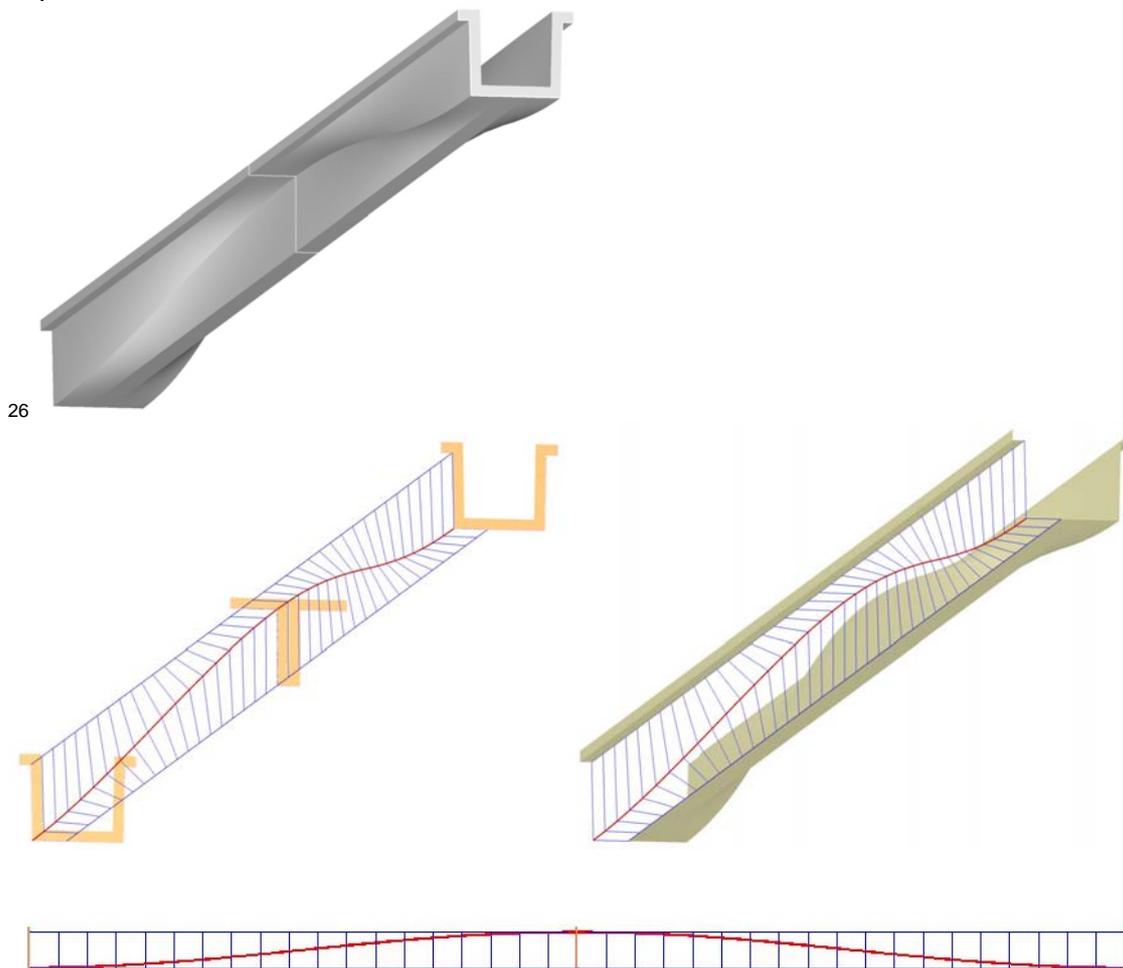
24



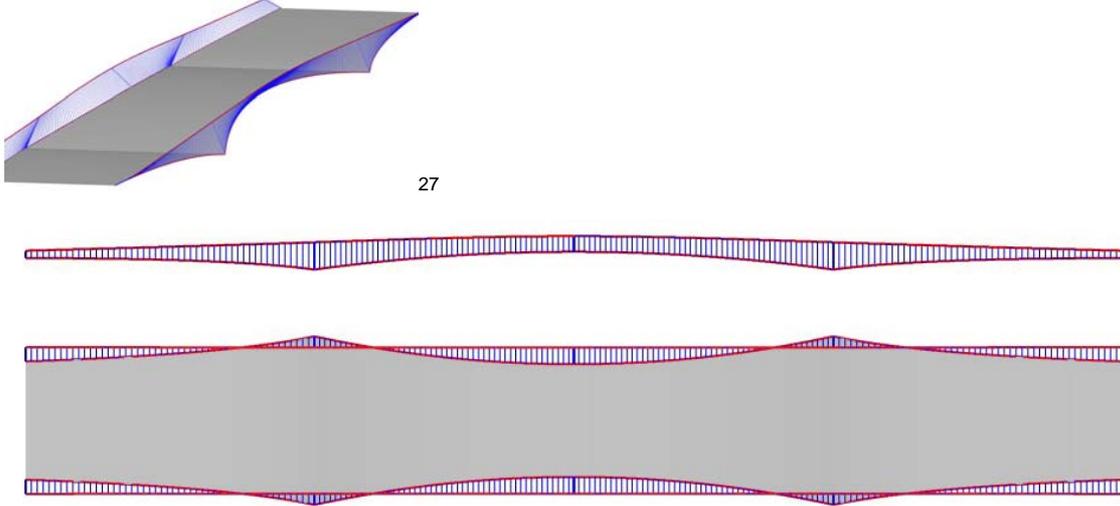
25

El segundo tipo que se ha anunciado es el de los casos de transición de segundo orden (siempre a partir de unos extremos definidos previamente). Las vigas de la explanada de la Opera House de Sydney y el tablero del puente del Risorgimento en Verona son dos ejemplos claros.

En el primer caso (26), se partió de las dos secciones, fijadas al servicio de una función clara, y se dibujó una primera solución donde las caras alabeadas eran cuadriláteros alabeados resueltos con superficies regladas de plano director (es decir paraboloides hiperbólicos). Más adelante se varió el diseño en busca de una cualidad plástica, que aportara valor expresivo al techo. El diseño inicial evolucionó y llegó a la versión finalmente construida, en la cual se define una arista curva entre dos vértices de las secciones extremas. Esta curva es una senoide trazada en un plano inclinado y se convierte en directriz de las dos superficies regladas que se construyen entre ésta curva y dos rectas longitudinales. Por consiguiente la forma de transición se resuelve en dos grados, uno determina los segmentos fijos y variables de las secciones extremas y dispone unas líneas longitudinales entre ellas, y el otro resuelve la superficie entre esas aristas nuevas.



En del puente del Risorgimento (27) también se sigue un proceso doble: se parte de las secciones necesarias por motivos estructurales y de aprovechamiento de material y se trazan unas líneas longitudinales que unen esas secciones entre sí, una delimita el lado de la calzada y la otra define los tres ojos del puente en tres arcos de plano inclinado. Una vez estas líneas quedan definidas se resuelven las superficies entre ellas.



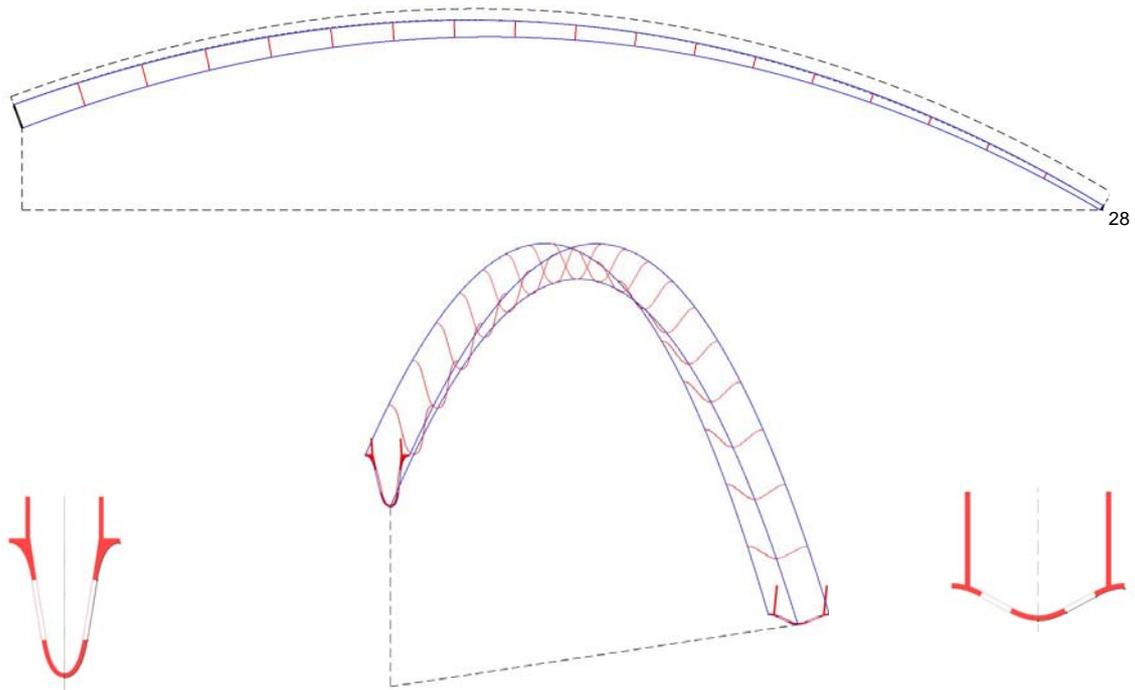
En estos dos últimos ejemplos la distribución de las rectas generatrices corresponde a una superficie de plano director puesto que todas estas rectas se mantienen paralelas a un plano imaginario. Este plano, en estos ejemplos se orienta en sentido perpendicular al eje del elemento y, por consiguiente, paralelo a las secciones iniciales. Otra vez se ha utilizado una ley abstracta –geométrica- en la distribución de las rectas generatrices que permite un gran control de la forma desde el proyecto (puesto que el dibujo de una superficie de este tipo se construye con líneas paralelas en una de las proyecciones de síntesis) y que puede adecuarse al sistema constructivo puesto que ambos se construyen con encofrados de elementos rectilíneos.

### Movimiento y transformación de una línea

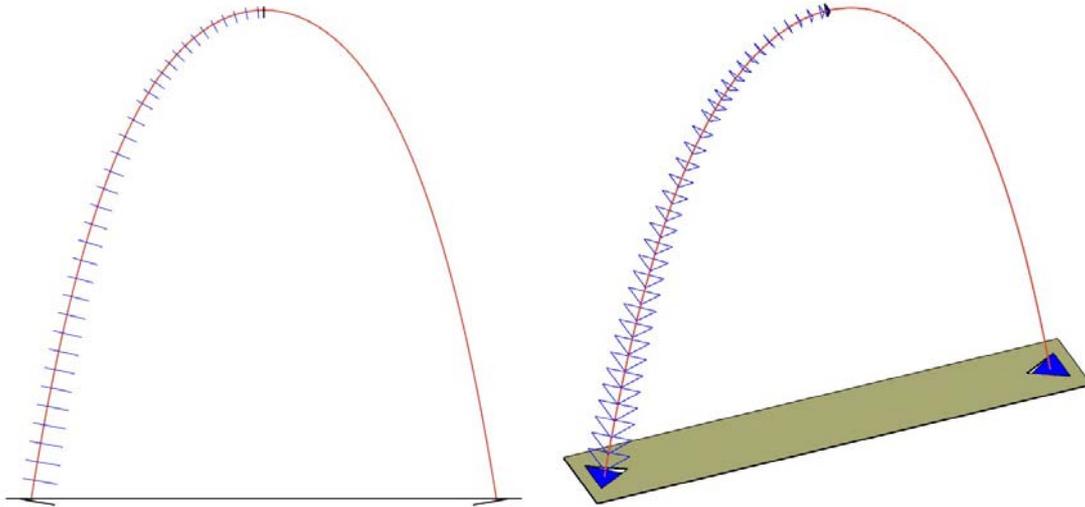
El movimiento de una sección característica a lo largo de una cierta trayectoria genera el segundo grupo de formas de transición. Tanto el trazado de la sección como el de la trayectoria están hechos con arreglo a una geometría precisa. Junto a este movimiento se produce algún tipo de transformación de la sección, como un escalado o un giro, de tal modo que los dos extremos, aun tratándose de formas análogas, son distintos y hacen del elemento una forma que resuelve el cambio de uno en otro pero éstos no son el origen del diseño sino una consecuencia.

La cubierta de la Sala de Audiencias Pontificias en el Vaticano (28), por ejemplo, se genera por el movimiento de una sección compuesta por parábolas y líneas rectas acordadas entre sí, por una ruta, también parábola, y esta sección va cambiando su trazado según se va desplazando y el techo ondulado cambia de una onda muy pronunciada en una muy suave, siempre compuesta de arcos de parábola acordados con líneas rectas.

Las dos secciones extremas son cortes perpendiculares al trazado de la ruta y para determinar cualquier sección intermedia hay que practicar cortes en la dirección normal al trazado del arco de la bóveda. De esta manera se han definido los tramos en que se ha descompuesto cada nervio de la estructura para prefabricar las piezas con las que se ha montado toda la cubierta.

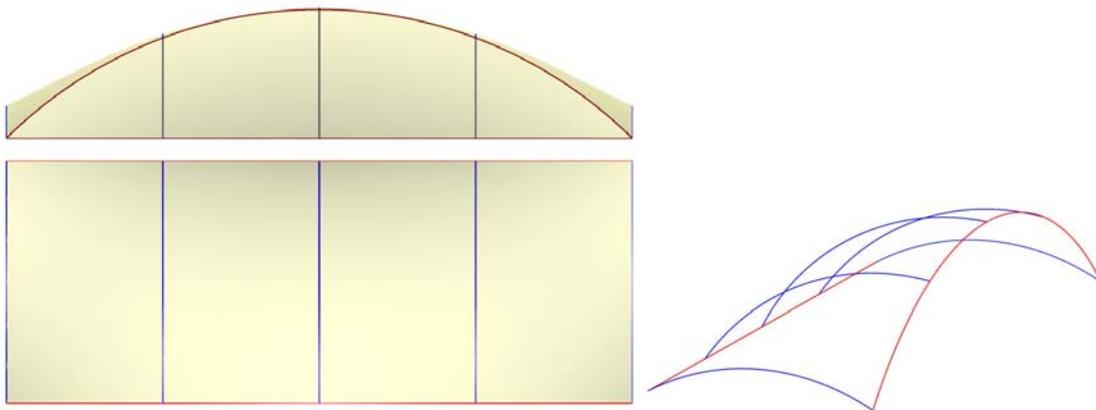


El monumento a Jefferson, en St. Louis, (29) se construye con el movimiento de un triángulo equilátero a lo largo de una línea catenaria y además se reduce la magnitud de su lado para aligerar el peso en la clave del arco. El triángulo equilátero corresponde a la sección perpendicular a una línea virtual (que Saarinen llama centroide) que uniría los centros de todas las secciones.



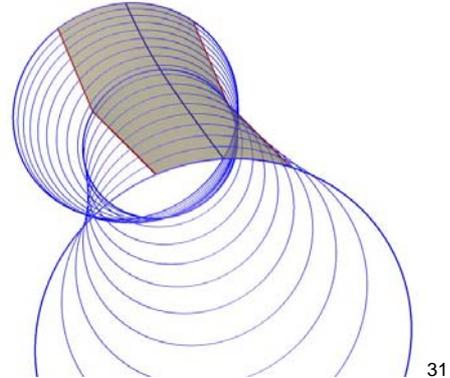
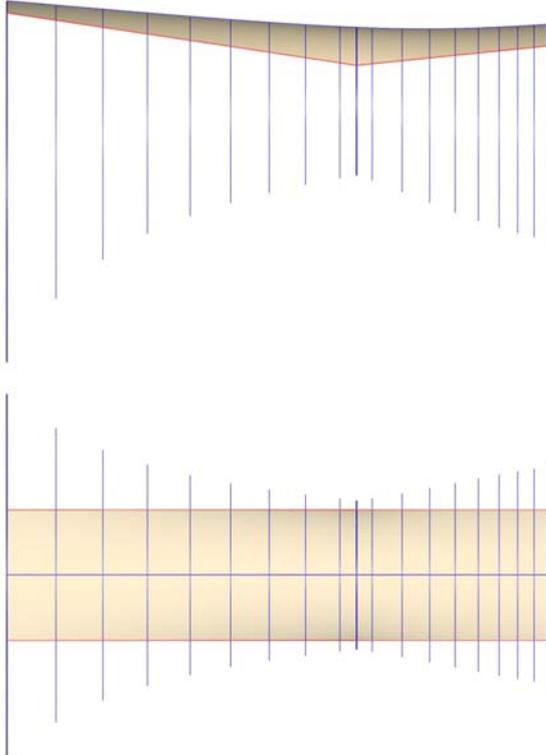
29

La cubierta de los talleres ferroviarios en Russe (30) se puede entender como el movimiento de un arco de circunferencia apoyado sobre dos líneas fijadas –dos rutas- que son un arco y una línea recta, por lo tanto, además de desplazarse, el arco se mantiene paralelo a un plano director y oscila lateralmente. Aparece, en este caso, una familia de planos paralelos cuya orientación es perpendicular a la línea directriz recta.

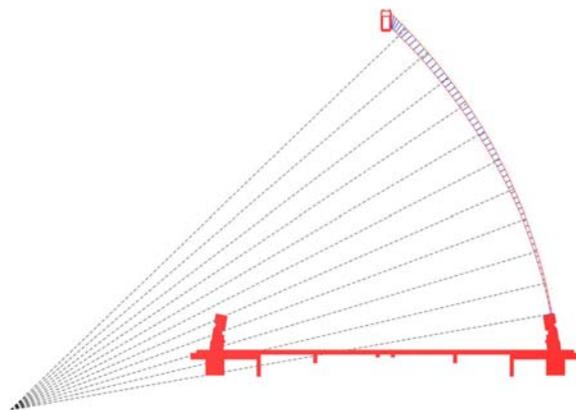


30

La marquesina de Zarzuela (31) que, después de todo el proceso del proyecto, acaba siendo la forma definida por el movimiento de un arco de circunferencia que reduce y amplía su radio y se desplaza apoyado en dos líneas: una línea hipérbola que describe el lomo de la lámina y una línea recta en el plano del pilar. Los planos que determinan las distintas secciones de esta cubierta son paralelos y perpendiculares a la dirección del pórtico estructural.



También las costillas del intradós en la cubierta de la Opera House, de Utzon, son un caso que puede encajar en esta familia, puesto que se forman por la transformación de una sección en forma de "I" en otra en forma de "Y", a la vez que se sigue la trayectoria del arco meridiano de la gran esfera. Las secciones sucesivas que definirán las piezas de los elementos prefabricados siguen planos radiales a la esfera.



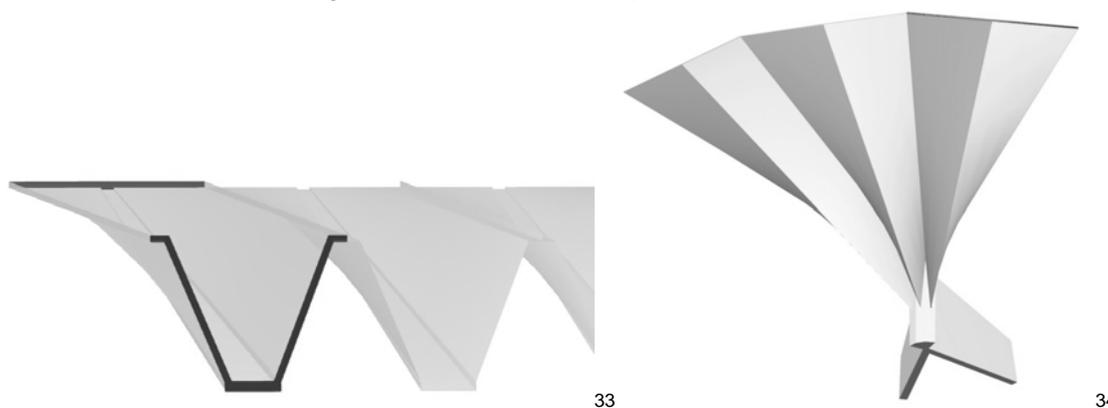
Parece lógico pensar en la familia de planos que en cada caso aparece como determinante de la figura. En todos los casos la disposición de esta familia de planos depende directamente o bien de la geometría de la trayectoria o bien del proceso constructivo.

Este elemento (la familia de planos) es una incursión en el campo geométrico abstracto y debe permitir ayudar al estudio de la forma en el proyecto. Si hay una vista diédrica del elemento donde esta familia de planos se puedan dibujar (en una proyección donde queden proyectantes) entonces éstos participan del diseño. La figura que se describe queda pues, determinada por: dos secciones extremas, una trayectoria y una familia de planos.

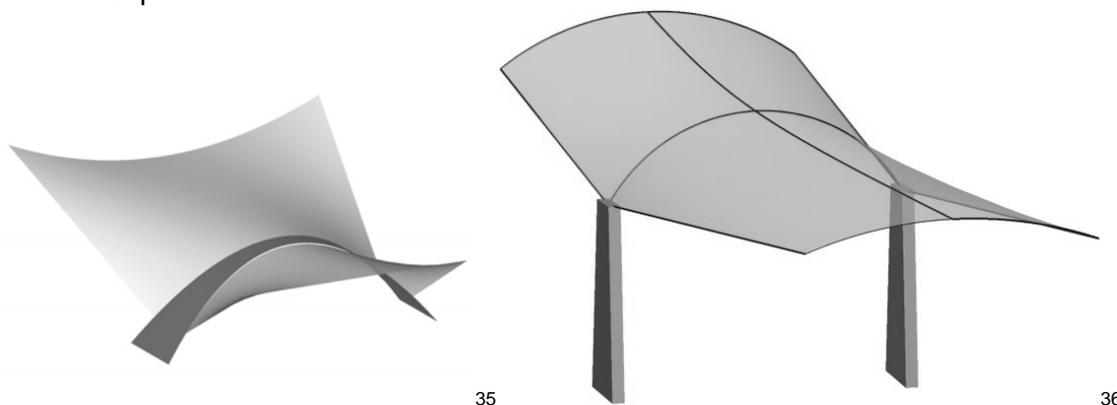
### Doble curvatura<sup>1</sup>

Una tercera manera de explicar las formas de transición puede ser por la elección de una figura cuya cualidad, ya sea de índole estética, estable o constructiva, es consecuencia directa de la forma curva de su superficie: las cubiertas, por ejemplo, formadas por láminas de doble curvatura son muy estables y ligeras y se basan en ese doble sentido de la curvatura para conseguir esta cualidad estructural; u otros elementos cuya forma no persigue la estabilidad exclusivamente, sino la fuerza expresiva que tienen estas formas curvas o las cualidades plásticas que dan a la arquitectura ante la incidencia de la luz del sol.

La marquesina del estadio Flaminio de Roma (33), de Nervi, o la de Santa Fe de México para músicos (34), de Candela, se resuelven con formas de doble curvatura cuya estabilidad y comportamiento ante las flexiones está probada. Estos dos ejemplos son muy parecidos y seguramente se escogieron por tratarse de paraboloides hiperbólicos que son formas estables. Pero los dos son porciones distintas de este tipo de láminas: en la marquesina de Roma uno de los extremos llega a la línea horizontal y el otro podría seguir hasta la vertical; en el caso mexicano, el borde del voladizo no llega a la línea horizontal y mantiene un perfil quebrado.



De igual modo, los voladizos de la Marquesina en el acceso del Secretariado de la UNESCO (35) de París, o el voladizo de la misma de Zarzuela (36) se pueden explicar como figuras construidas entre dos límites distintos pero en esencia deben su diseño a que parten de figuras laminares auto-estables. Todas ellas son fragmentos de una figura mayor infinita. El trabajo en el proyecto ha sido determinar precisamente los extremos que lo delimitan.



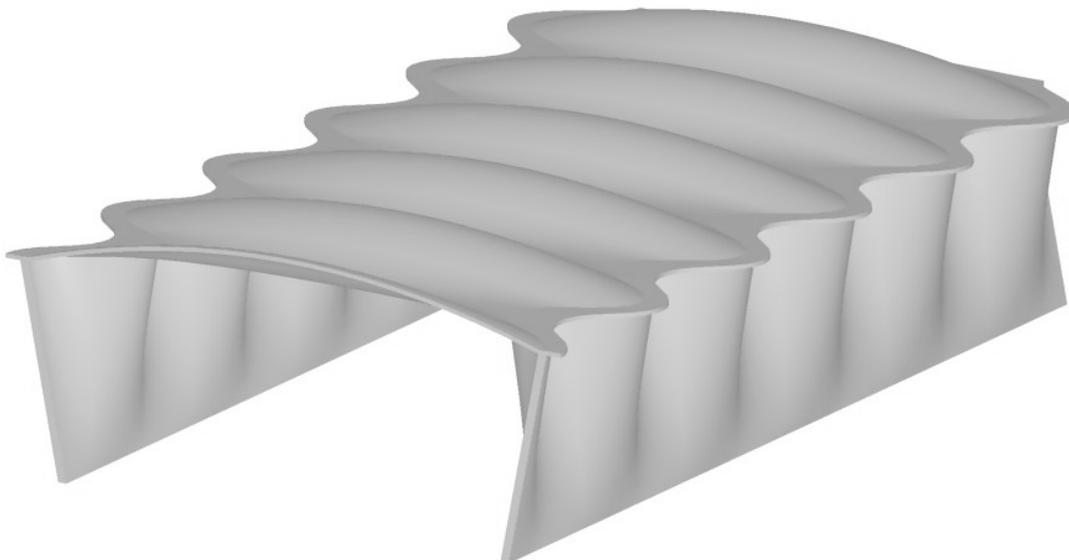
<sup>1</sup> En sentido estricto, las superficies cóncavas también tienen doble curvatura solo que éstas son de igual signo. Pero parece más gráfico hablar de doble curvatura cuando se trata de sentidos opuestos y mantener la idea de concavidad para las de igual signo.

La torre de los laboratorios Jorba (37) de Fisac, es un edificio que ha encontrado en la variación de la forma el dinamismo y la singularidad que buscaba; lo interesante de su figura es esa variación. El elemento con el que juega es también el paraboloides pero el movimiento de los ventanales a cuatro vientos es la figura determinante. Esta disposición girada de las carpinterías es el origen del problema de transición y la superficie es la solución concreta por la que se ha optado.



37

La cubierta de Atlántida (38) también se puede entender desde este punto de vista. El objetivo formal es la construcción de una cubierta de doble curvatura. La elección de qué curvas son las que se utilizan puede seguir componentes de índole estructural junto con las diferentes influencias que la construcción de Gaudí parece que tuvo sobre Dieste, pero en esencia, la doble curvatura es el objetivo buscado para esta cubierta. Su diseño es tan cerrado que queda determinado por unas pocas variables que son las medidas de luz y flecha de las catenarias máxima y mínima y dos medidas que definen las ondas del muro. Este caso no se trata de un fragmento de una figura conocida sino la figura escalada a las medidas del edificio, siempre con arreglo a una geometría muy estricta.



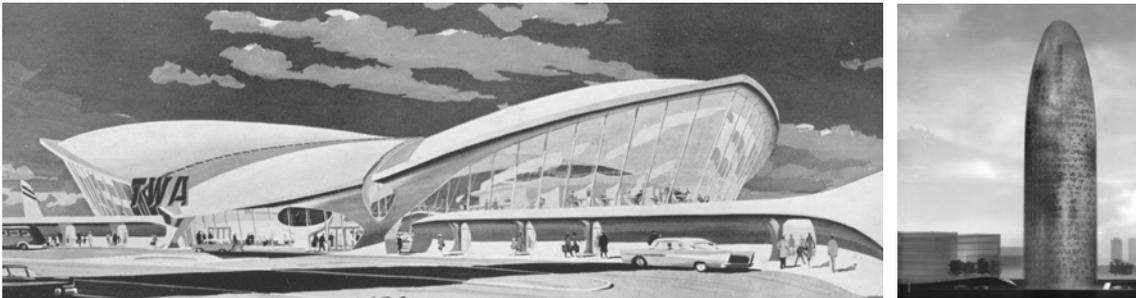
38

### Presuntas formas libres

Y por último, puede ser que la transición surja como consecuencia de una forma diseñada como elemento singular, que se trate de una forma buscada, que puede no ajustarse a ninguna figura geométrica, sino que se perfila desde su silueta tridimensional, desde su contorno, como los cascos de los barcos, cuya forma sigue leyes de hidrodinámica y flotación -no de estética-, y para los cuales se ha encontrado una manera de dibujarlos a base de los cortes sucesivos en los planos de formas.

La diferencia entre los barcos y estos ejemplos expuestos aquí es que los motivos de la forma de estos últimos sale del trazo del arquitecto. En ellos se persigue una figura, una imagen determinada difícil de evaluar por cuanto se apoya en motivos personales en los que no vamos a entrar aquí. En los barcos la forma se pone al servicio de una utilidad con pocas concesiones a los deseos personales.

A esta otra manera de entender las formas de transición se pueden adscribir edificios como la terminal de la compañía TWA de Nueva York o la torre AGBAR de Barcelona. Quizá en el primero el uso sí marcó los primeros dibujos que se aproximaban a la figura y hubo una atención a las circulaciones y al funcionamiento de la terminal aérea, pero en el segundo el uso como edificio de oficinas permite una forma más liberada de objetivos funcionales para poner en primer término los parámetros estéticos, donde interviene el gusto y el deseo particular del arquitecto.



El diseño de estos edificios ha partido de la forma aparente, en una concepción escultórica de la arquitectura. Su aspecto final es un objetivo que sólo se puede conseguir después de un ejercicio de abstracción que permita construirlo: es la forma final la que da pie a la construcción por transición y no a la inversa, como serían los casos del primer grupo. La construcción tanto del dibujo como del edificio se consigue a base de líneas entre las cuales se forman superficies. La forma no es la consecuencia de unas siluetas previas sino que es la causa de las siluetas en las que se fragmenta para poderla construir; es el objetivo a buscar.

