

Soluciones de la Edad Media a problemas arquitecturales de la Era Digital:

En esta conferencia, utilizaremos las posibilidades de los nuevos programas de CAD paramétrico para comprobar las hipótesis de Roland Bechmann sobre el gótico, tal como están presentadas en su libro « Les racines des cathédrales ».

Capa 0 : Proporción entre naves

k = proporción entre nave principal y nave auxiliar

Capa 1 : Sistema clásico

- las bóvedas son de sección circular, la nervadura de intersección es elíptica
- cada una de las piedras de la nervadura de intersección son diferentes (curvatura variable)
- cada una de las piedras de la nervadura de sección son iguales (curvatura constante)

Capa 4 : Sistema clásico invertido

- las bóvedas son de sección elíptica, de modo que la nervadura de intersección pueda ser circular
- cada una de las piedras de la nervadura de intersección son iguales (curvatura constante)
- cada una de las piedras de la nervadura de sección son diferentes (curvatura variable)

Capa 5 : Sistema gótico = el arco roto

Como los góticos han reemplazado la elipse por dos arcos de círculos porque:

- 1- Habían perdido el conocimiento de Euclides y Apolonio,
- 2- Querían perfiles a curvatura constante para estandarizar bloques de piedra como también elementos de cimbra en madera

Capa 6 = arco roto; primera aproximación = perfil cuyo centro está en la línea de base de los arcos (en blanco)

El centro B de los arcos es querido en la línea horizontal que une los pies de ambos arcos.

Level 7 = arco roto; interpretacion provisoria de la seconda aproximacion = radio igual a aquelo del arco diagonal (rosado)

Ahora el radio tiene que ser de igual valor que el radio de ambos arcos de interseccion entre las bovedas, o sea = SW. Eso permite de estandarizar los bloques de piedra de los arcos de seccion como los de los arcos de interseccion.

Apuntemos que en este caso, el centro C del arco no se queda en la linea de base OJ, lo que significa que la tangente al circulo en A no se queda vertical.

Este caso nos proporciona tambien la mejor aproximacion de la elipse cuando $k=2$ (color maron, capa 5)

Capa 8 = arco roto; tercera aproximacion = le "gracieux profil en tiers point" de los Cistercienses (verde)

Esta vez el centro de los arcos es querido detal modo que su proyeccion horizontal divide el ancho de la nave en tres partes iguales.

Apuntemos que en este caso, la tangente al circulo en A es aun mas oblicua. Esta curva en "tiers point" pasa de una parte a la otra de la elipse de la cual nos proporciona la mejor aproximacion **cuando $k=1$** . En este caso el arco es muy parecido a la cadena que seria el optimum estatico

Capa 9 = elementos tres dimensionales necesitados para construir las superficies de las bovedas

Apuntemos que esta superficie podria ser una superficie reglada, aunque no sea cilindrica.

Los goticos no escogieron esta solucion, pero mas bien una superficie ligeramente incurvada que mejora su geometria auto-soportante. (ver : [gauchissement_surface.jpg](#))

Asi vemos que el arco gotico no tiene nada que ver con lineas de fuerzas, pero funciona mas bien:

- como un perfil guia durante la construccion,
- como una linea de cosimiento que esconde la discontinuidad entre las varias superficies.

En el sistema desarrollado para la Sagrada Familia, Gaudi se quedo solo con superficies regladas, mientras nosotros dibujaremos las bovedas goticas con superficies "patch".

Capa 10 = superficie patch resultando del arco cuyo centro permanece en la línea que une los pies de los arcos

Capa 11 = superficie patch resultando del arco idéntico a aquél de los arcos diagonales

Capa 12 = superficie patch resultando del perfil en "tiers point" (tercero punto).

Capa 13 = construcción del $\sqrt{3}$ rectángulo

Sabiendo que la altura del triángulo equilátero es la mitad de la raíz del número "3", una forma muy fácil de dibujar este rectángulo es de construir dos triángulos opuestos por el vértice.

Triángulos equiláteros pueden ser dibujados muy fácilmente con un compás fijo, lo que hace esta figura más frecuente que el cuadrado cuya perpendicularidad es más difícil de lograr con los instrumentos de la Edad Media. Así entendemos una de las razones por las que Viollet le Duc concebía este triángulo como la figura geométrica eminente.

Capa 20 = arco roto; cuarta aproximación = el arco equilátero, falsa interpretación (azul)

Roland Bechmann dice que el arco equilátero es la mejor solución en el caso en que $k = \sqrt{3}$ (1,73). No es lo que aparece en este dibujo.

Capa 21 = arco roto; cuarta aproximación = el arco equilátero, interpretación correcta (lila)

Leyendo más atentamente el texto, se entiende que Bechmann extiende verticalmente la línea de los pilares, lo que proporciona una base más alta a los arcos. Ahora apuntemos que:

- no solamente el centro, pero más bien el pie de los arcos ha sido elevado, lo que significa que la bóveda empieza verticalmente,
- cuando Bechmann habla de esta desviación como siendo de $1/6$ de la altura total del arco, eso es una regla empírica constatada en los edificios góticos, y no una consecuencia lógica general de la geometría del arco.

Pero en el caso particular en que $k = \sqrt{3}$, vemos que el arco equilátero tiene todos los ventajas a la vez; es decir:

- tiene su centro F' casi en el pie de la curvatura de los arcos, lo que constituye el ventaja estético como también estático de la primera aproximación

- es muy cerca del arco dibujado con un radio igual a lo del arco diagonal = ventaja de estandarizacion y prefabricacion de la segunda aproximacion (azul oscuro en la capa 7)
- es la mejor aproximacion de la elipse (color maron en la 5)= ventaja de la tercera aproximacion,
- sin olvidar que finalmente es un arco equilateral muy facil para dibujar = ventaja de la cuarta aproximacion,

Choisy y Viollet le Duc ya habian apuntado que el arco equilateral se presentara como la solucion mas frecuente en la segunda mitad del siglo XIII, arco equilateral que, recordamoslo, condujo a una proporcion de $\sqrt{3}$ proportion entre el ancho de ambos naves cruzandose.

Capa 22 = arco roto; cuarta aproximacion = el arco equilateral, interpretacion final (color naranja)

Se dibujamos el arco con esatamente lo mismo radio que el arco diagonal (entre los puntos S y J'), nos damos cuenta que en el caso de $k = 2$, este arco:

- tiene su centro F' esatamente en el pie de la curvatura de los arcos, lo que constituye el ventaja estetico como tambien estatico de la primera aproximacion
- constituye, por definicion, el arco dibujado con un radio igual a lo del arco diagonal = ventaja de estandarizacion y prefabricacion de la segunda aproximacion (azul oscuro en la capa 7)
- es la mejor aproximacion de la elipse (color maron en la 5)= ventaja de la tercera aproximacion,
- finalmente es muy parecido al arco equilateral muy facil para dibujar = ventaja de la cuarta aproximacion,

Conclusion:

Las proporciones en la Edad Media:

- no son el ratio ortogonal entre el ancho y la altura de las columnas,
- pero mas bien el ratio rectangular entre el ancho de las naves que se modifica segun la definicion del arco,

Vemos que estas proporciones se explican en termines de construccion geometrica y de estandarizacion.

El inicio vertical de arco de seccion explica parcialmente porque las juntas de los primeros bloques de piedra son horizontales y no radiales. La explicacion complementaria es que en caso de que estas juntas habrian sido radiales, la geometria de los bloques habria sido muy compleja por

deber comportar una cara oblicua para cada nervadura llegando en el pilar. (ver : tas_de_charge.jpg)

Como resultado adicional, vemos que los góticos necesitaban un solo tipo de cimbra para los arcos principales y diagonales. (ver cintre_nervure.jpg)

Nervaduras constituyen curvas guiadas y dispositivos de costuras entre superficies complejas que no son tan fáciles de juntar incluso con los recientes software modeladores. Esta concepción de las nervaduras es del todo opuesta a la interpretación moderna como línea de fuerza. Es más parecido el ejemplo que utilizó Gottfried Semper para ilustrar su principio: "Hacer de la necesidad virtud". Semper tomó el ejemplo antiguo de la costura de piezas de piel que no se juntaban bien, donde se ponían pequeñas piezas de color vivas para mostrar bien el ensamblaje.

Según la definición semperiana del estilo, el gótico se desarrolló de modo diferente en Francia y en Inglaterra. En este último país, donde abundaba la madera, la cimbra era muy barata. En lugar de conseguir bóvedas lo más alto posible, los ingleses eran más interesados en bóvedas muy anchas gracias a la multiplicación de las nervaduras, cada una necesitando su propio cimbrado. En este caso, llegaron hasta el punto en que las superficies descansan totalmente en las nervaduras, como el caso de la superficie de un barco de madera que constituye otro ejemplo de Semper para la arquitectura de las iglesias.

Así podemos concluir que el gótico francés era estereotomía pura, mientras el gótico inglés se volvió en una arquitectura tectónica aunque curva.