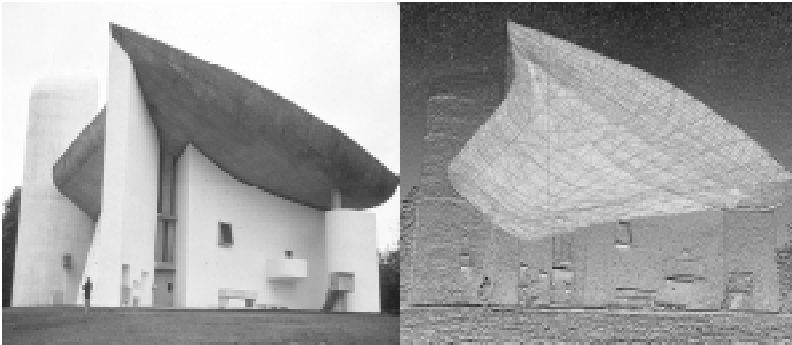


# EL ANÁLISIS DE LAS FORMAS DE LA ARQUITECTURA A PARTIR DE LA GENERACIÓN DIGITAL DE SUPERFICIES. RONCHAMP.



## Abstract

*Continuing with our research in free-form surface models, this paper proposes a methodology that analyzes the basic entities of architectural forms to generate virtual models with a high range of accuracy. We use NURBS technology because this kind of entities has very large characteristics of generation, transformation and modification in front of mesh's entities.*

*The complexity of free form models generation it can be reduced substantially, if an accurate analysis of the object allows define its basic entities. In the architectural surface generation, it is possible to define the required parameters to build complex models designed by architects. An experience with the three-dimensional modeling of Ronchamp chapel roof allows applies the proposed methodology.*

## Antecedentes y planteamiento

Para continuar con la investigación desarrollado en anteriores trabajos, nos ha parecido adecuado estudiar los diferentes problemas metodológicos que existen a la hora definir la estructura geométrica de formas complejas en arquitectura con el mayor rigor posible. El estudio de este proceso metodológico pretende orientar y ayudar a determinar con rigor todas aquellas formas tridimensionales que pueda idear el proyectista, para expresar aquello que realmente desea, reduciendo su complejidad formal al mínimo posible.

Para desarrollar esta idea, en este trabajo se realiza el estudio y el análisis de una superficie arquitectónica con formas libres construida, la cubierta de la capilla de Ronchamp de Le Corbusier.

## Objetivos.

La finalidad de este trabajo, no es obtener el modelo virtual de una superficie

compleja construida, ni especular con los criterios utilizados para diseñar la cubierta de Ronchamp, sino demostrar de manera genérica que cualquier forma volumétrica de este tipo permite una definición muy precisa y a partir de elementos muy concretos,

En este trabajo se define una metodología del proceso necesario para generar una superficie de forma libre concreta a partir del análisis de los elementos que la estructuran. Para definir los elementos básicos de su forma volumétrica, se ha escogido la tecnología de entidades NURBS, frente a la tecnología de entidades MESH, no sólo por que cuentan con una estructura geométrica más versátil, sino porque disponen de sistemas que permiten analizar los diferentes parámetros de las formas obtenidas muy rápidamente.[Schneider, 1996].

## Metodología.

El análisis formal de la cubierta de la ca-

**Joaquín Regot**

Dr. Arquitecto

**Andrés de Mesa**

arquitecto

**Nicanor García**

Arquitecto

Universidad Politécnica de Cataluña. España.

pillla, se realizó a partir de las reproducciones de dibujos originales de la versión definitiva del proyecto, y las fotografías de las maquetas de trabajo [Petit, 1966], [Stoller, 1999].

La transformación de todas las imágenes en datos digitales se realizó mediante un escáner, primero en formato raster y luego en formato vectorial, con el objeto de contar con una base de trabajo con la mayor exactitud posible.

Primera aproximación. La primera hipótesis que se ha formulado sobre la estructura que define la generación formal de la cubierta fue la más inmediata. Es decir, suponer que las directrices de su forma la constituyen las 8 "costillas" que le dan rigidez estática, tal como lo demuestran los propios dibujos de taller.

La determinación de los elementos que conforman la silueta de cada una de las "costillas", se ha realizado siguiendo los dibujos originales pero teniendo en cuen-

ta las definiciones geométricas más simples posibles y que se pudieron resolver mediante arcos de circunferencia y líneas rectas. Figura 01.

El posicionamiento tridimensional de los elementos estructurales de la cubierta permitió realizar un primer análisis de su forma, puesto que cada "costilla", en realidad determina la sección transversal de una superficie definida por dos grupos de líneas directrices. El primero, en el que descansa la parte superior de la cubierta, es decir la parte aérea o extradós, y el segundo grupo, que es el que define el intradós o su parte inferior.

Así, el primer intento de formalización de estas dos superficies se realizó utilizando una generación por secciones denominada "loft surface". De esta manera, las superficies resultantes se apoyan sobre las líneas de cada una de las 8 costillas mientras que sus bordes laterales adquieren una forma libre.

Un primer análisis de este resultado formal mediante la orientación de normales y los valores de curvatura, nos permitió observar defectos de continuidad y uniformidad ciertamente importantes en ambas superficies. La elaboración de un mapa de "temperatura de color" de la variación de curvaturas y la elaboración de un conjunto de curvas de nivel según la orientación horizontal y otro según la orientación de normal promedio de cada superficie, permitió detectar que la falta de continuidad se producía por la mayor o menor exactitud de adaptación del perfil generador a las curvas de paso definidas por las "costillas".

Segunda aproximación. Gran parte de los problemas formales que se presentaron en la primera aproximación se pudieron resolver manteniendo las 8 "costillas" estructurales de la cubierta como directrices de sus superficies y corrigiendo la modalidad de su generación geométrica.

Para poder conseguir una forma lo más regular y continua posible, se generó

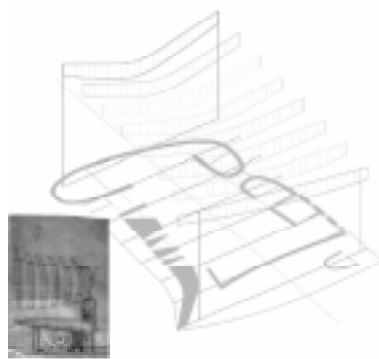


Fig 01. Estructura: Datos gráficos y resolución espacial.

una segunda superficie mediante su paso por secciones utilizando la misma técnica que la anterior. Es decir generándola por secciones, pero añadiendo un parámetro de tolerancia de paso para las 6 "costillas" intermedias, de tal manera que sólo se mantuviesen como líneas de paso obligatorio aquellas definidas por la primera y la última "costilla". Esta particularidad permitió generar una superficie que redujo sustancialmente las discontinuidades creadas por el ensayo anterior.

El análisis de esta segunda superficie nos permitió ver que todos los problemas de discontinuidad se podían eliminar si solamente se tomaban en cuenta la primera y la última "costilla". Indudablemente esta propuesta era una solución muy radical, pero permitía analizar los problemas de la geometría estructural de la superficie de la cubierta a partir de una superficie "teórica". Para conseguir esta superficie se situaron líneas rectas en el espacio de tal manera que quedasen superpuestas sobre las partes rectas de los segmentos que definen la parte superior de la primera y la última "costilla". Mediante estas líneas como directrices se determinaron dos superficies regladas alabeadas simples que quedaban unidas por medio de una línea recta apoyada en las directrices correspondientes a la primera y la última "costilla".

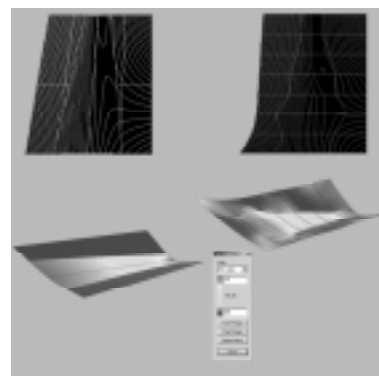


Fig 02. Análisis formal y de curvatura.

Para completar la parte central de esta superficie "teórica" de la parte superior de la cubierta, fue necesario generar una tercera superficie de curvatura variable tangente a las dos superficies regladas anteriores. Su curvatura se definió mediante el arco de circunferencia situado en la "costilla" posterior y la recta que define la primera "costilla". El resultado de la composición de estas tres superficies permitió generar una superficie completamente reglada y uniforme que cumplía con los datos gráficos de partida y permitía intuir el proceso de generación básico de la forma final de la superficie de la cubierta. Figura 02.

Tercera aproximación. La metodología de generación, la geometría y la forma de la superficie "teórica" obtenida, comparada con las anteriores aproximaciones, nos ayudó a entender la gran importancia que tenía la lámina 7473 de la Fondation Le Corbusier. En dicha lámina se puede comprobar como la generación de la superficie superior de la cubierta se establece mediante un reglado que se apoya en las dos líneas situadas en la parte superior de la primera y última "costilla". Estas dos líneas tienen sus posiciones espaciales perfectamente determinadas, ya que en la lámina se muestra su posición en alzado y la división en segmentos iguales para definir el reglado de una superficie.

A diferencia de lo que pensamos en un principio, en esta lámina se definen cla-

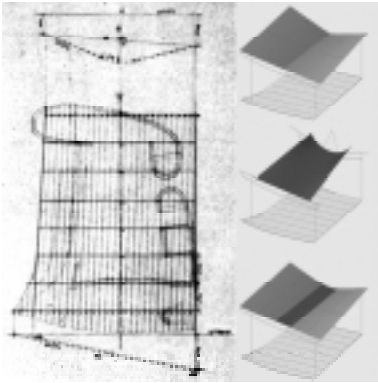


Fig 03. Lámina 7473 y superficie teórica.

ramente las costillas anterior y posterior como directrices del reglado de las viguetas de refuerzo de la superficie de la cubierta y por lo tanto de su forma. Por esta razón nos pusimos a estudiar los sistemas de su generación mediante superficies regladas.

La verificación definitiva se produjo después de comprobar que las secciones de la superficie reglada construida a partir de los datos de la lámina 7473 coincidían perfectamente con las líneas de la parte superior de los perfiles de las 6 "costillas" intermedias. De hecho, nos dimos cuenta que la forma de la superficie de la cubierta de Ronchamp está estructurada por 2 superficies básicas: la superficie reglada superior y la superficie reglada inferior.

A partir de esta base y vistos los resultados anteriormente obtenidos, todas las formas de los encuentros entre la superficie superior y la inferior se pueden considerar como superficies complementarias. Así, en todo el conjunto de la cubierta se detectan 5 superficies distintas; la superior, la inferior, las laterales derecha e izquierda y la frontal que define la cornisa del voladizo sobre el altar exterior.

Para poder asegurar la continuidad geométrica G2 [Farin, 1996] de las dos superficies básicas que definen la cubierta, cuyas directrices están configuradas por segmentos rectos y curvos a

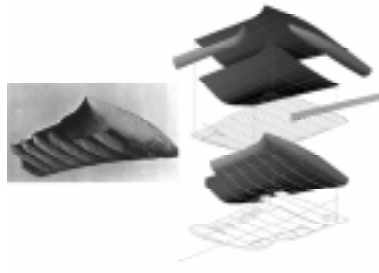


Fig 04. Superficies que componen la cubierta.

la vez, fue necesario determinar previamente las relaciones proporcionales entre sus longitudes. Como consecuencia, se tuvo que relacionar las proporciones entre una línea recta (1ª directriz) y un arco de circunferencia sumado a dos rectas (2ª directriz) para la superficie superior. Y entre un arco de circunferencia (1ª directriz) y tres arcos de circunferencia continuos (2ª directriz) para la superficie inferior. De esta manera se consiguió que las tres partes que conforman tanto la superficie superior como la inferior de la cubierta tuviesen continuidad de curvatura y uniformidad geométrica muy superior a las anteriores. Figura 03.

Para completar la volumetría de la forma de la cubierta, se procedió a la determinación de los parámetros que definen las superficies de la parte frontal y de las dos partes laterales, y que enlazan la superficie inferior y superior de la cubierta que se han propuesto. La adaptación de continuidad geométrica con grado G1 entre estas nuevas superficies y la superficie interior, se realizó mediante arcos de circunferencia tangentes a dicha superficie, y a una superficie vertical "imaginaria" apoyada sobre los bordes de la superficie superior. Para construir dichos arcos fue necesario obtener previamente las líneas de sección de la superficie inferior y superior utilizando una cuadrícula horizontal de referencia rectangular. Así, los arcos de circunferencia tangentes a una

generatriz de la superficie inferior y a la recta vertical de referencia del borde de la superficie superior, se convirtieron en curvas de paso de las superficies de enlace frontal y lateral izquierda. La regularidad de continuidad de estas nuevas superficies con todas las superficies adyacentes, nos obligo a aplicar un parámetro de tolerancia a todas las curvas de paso intermedias y a ajustar su recorrido mediante dos líneas guía laterales. Figura 04.

### Conclusiones.

La metodología empleada en la resolución de la volumétrica de la cubierta Ronchamp no sólo ha permitido la generación geoméricamente controlada de una superficie irregular con un alto grado de precisión, sino demostrar que la forma de una superficie, puede ser reducida a la combinación estructurada de varias superficies intermedias.

El estudio y la concreción tridimensional de una forma tan compleja como esta, ha puesto de manifiesto la extraordinaria versatilidad de los sistemas de NURBS a la hora de generar formas complejas. Esta característica queda perfectamente complementada por la capacidad de los sistemas de NURBS para realizar análisis de los objetos así generados de una manera muy variada y precisa.

Por último, la experiencia realizada metodológicamente demuestra que la generación de formas libres dentro del diseño arquitectónico, requiere de una estructura previa que sea capaz de definir las partes fundamentales que la configuran si se quiere obtener un objeto geométrica y formalmente controlable. Para generar la cubierta se ha hecho una reducción a dos superficies básicas y tres complementarias, que mediante su análisis se han podido determinar sus líneas directrices, compuestas por líneas rectas y arcos de circunferencia. En este sentido, el sistema metodológico empleado en la resolución volumétrica de de esta cubierta es el resultado más valioso de esta experiencia.

**Bibliografía**

STOLLER, Ezra. The Chapel at Ronchamp. Building blocks. Princeton Architectural Press. New York.1999

PETIT, Jean. Le Livre de Ronchamp Le Corbusier. Les Cahiers Forces Vives. 1961

SCHNEIDER, Philip J. NURB Curves : A Guide Develop for the Uninitiated. The Apple Technical Journal. Issue 25..1996

PIEGL, Les A. & TILLER Wayne. The Nurbs Book (Monographs in Visual Communications) Springer Verlag. Berlin. 1997

FARIN, Gerald E. Curves and Surfaces for Computer-aided Geometric Design. Morgan Kaufmann Publishers. San Francisco.1996