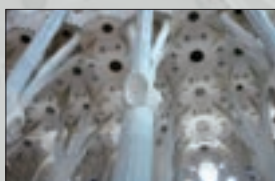


N.4

Julio 2012

*Cuadernos de diseño*  
*Quaderns de disseny*  
*Design notebook*



# Diseño Disseny Design

El templo de la Sagrada Familia. Antonio Gaudí

en la obra pública



# Aqualogy. Primera marca global de soluciones integradas del agua.

El progreso social y económico exige una gestión eficiente del agua para mejorar la calidad de vida de las personas.

Aqualogy es una apuesta decidida por la innovación, investigando para ofrecer soluciones adaptadas a las necesidades de organizaciones, instituciones o empresas.

**Bienvenidos al futuro del agua.**

[www.aqualogy.net](http://www.aqualogy.net)



**AQUALOGY**  
Where water lives.



### Colaboradores de este número

Juan J. Arenas  
Jorge Bernabeu  
Francisco Bueno  
Jordi Fauli  
Florentino Regalado  
Manuel Reventós

### Grupo asesor

Miguel Aguiló  
Joaquim Català  
Santiago Hernández F.  
Javier Manterola  
José Luis Manzanares  
Carlos Nardiz

### Equipo de redacción

Modest Batlle (coordinador)  
Emilio Cereijo  
Carles Labraña  
Pere Macias  
Jordi Mensa  
José Pablo Rodríguez-Marín  
Javier Vizcaino

### Secretaría de redacción

Angy Palau  
Tel. 93 401 58 08 - [angy.palau@upc.edu](mailto:angy.palau@upc.edu)  
Silvia Borges  
Tel. 93 401 73 45 - [silvia.borges@upc.edu](mailto:silvia.borges@upc.edu)

Escuela de Ing. de Caminos, Canales y Puertos  
Jordi Girona 1-3 Mód. B1, desp. 303 08034 Barcelona

### Editor

Cercle d'Infraestructures  
Càtedra ITER: Copisa, FCC, OHL, Rubau  
Red Univ. Iberoamericana de Técnicas  
Municipales (RUITEM)

### Diseño y maquetación

Fabrizio Rodilossi  
[fabriziorodilossi@gmail.com](mailto:fabriziorodilossi@gmail.com)

### Impresión

Gràfiques Ossó  
[info@grafiquesosso.com](mailto:info@grafiquesosso.com)

Depósito Legal: B-6.248-2009  
ISSN: 2013-2603  
Nº ejemplares: 4.050

La revista no se hace responsable de las opiniones  
que corresponden únicamente a los autores.

### A LA VENTA EN LA LIBRERÍA DEL CICCP

[www.ciccp.es](http://www.ciccp.es) (Servicios / Librería)  
Tel. 91 308 19 88 (ext. 272-298); Fax 91 319 95 56  
Por correo: Peticiones a Carles Labraña  
[carleslabrana@upc.edu](mailto:carleslabrana@upc.edu) - Tel: 615 841 415  
Gastos de envío 2 €

# Ingeniería es más

La obra cumbre de Gaudí, la Sagrada Familia, ha sido el eje central de este número por dos motivos. Primero porque cuando hablamos de obra pública, esta no son solo las carreteras, presas, puertos, etc, son también aquellas obras donde la sociedad se ve reflejada y que podemos y debemos asumir, dado que en ellas la ingeniería tiene una presencia esencial.

Y en segundo lugar porque aunque la titulación de Gaudí fuese la de arquitecto, es posible que las de ingeniero estructural y escultor le fuesen tanto o más acordes que la de arquitecto. El magnífico y enciclopédico artículo de Jordi Fauli es buena prueba de ello.

El lector observara también que algunos contenidos de este número podrían clasificarse como heterodoxos. En ello va el espíritu de esta publicación: la libertad de exponer ideas, opiniones y debates, que también son Ingeniería porque Ingeniería es más que cálculo, que hormigón y que asfalto.

Nuestra enhorabuena, por su reaparición, a la revista "IT Ingeniería y Territorio" y a su tenaz promotor, Ramiro Aurin.

Gracias a todos.

M.B.

*Este N. 4 estará presente en las siguientes universidades: Universidad del Pacífico de Lima, Universidad Politécnica de Pernambuco, Universidad Nacional de Ingeniería de Bogotá, Facultad de Arquitectura de El Salvador, Universidad de Santa Caterina de Florianópolis, Universidad Nacional de La Habana.*

Estos Cuadernos quieren ser una página en blanco para todos aquellos que tienen el deseo, y acaso también el deber, de opinar sobre algo tan esencial para el futuro de las infraestructuras y de sus profesionales como es una nueva funcionalidad, la visual, que la sociedad le exige, en razón de que su actuación puede alterar en positivo o negativo la percepción que el usuario tiene de su territorio.



Fig. 1. Tres puentes diferentes de J.J. Arenas bajo un mismo concepto.

## Las copias dentro de los procesos de restauración del patrimonio histórico monumental

FLORENTINO REGALADO TESORO

DR. INGENIERO DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS. PROFESOR TITULAR DE INTRODUCCIÓN A LAS ESTRUCTURAS Y PUENTES E.T.S.A. Y E.I.C.C.P. DE ALICANTE. DIR. GENERAL DE FLORENTINO REGALADO Y ASOC. INGENIEROS.

Las copias tienen mala prensa en general, y no constituye una especial excepción el campo de la restauración del patrimonio monumental histórico, en el que tampoco parece que las mismas gocen de una cordial simpatía.

Que los hechos sean así, que las copias se encuentren fuertemente vilipendiadas como recurso y alternativa a tener presente en las operaciones de restauración, o incluso cuando con el papel en blanco nos enfrentamos a la creación de una obra nueva en fase de proyecto, confieso que

no deja de sorprenderme. Y me sorprende por el simple hecho de que la inmensidad de los mortales vivimos de hacer copias a un ritmo creciente y frenético, y sólo de tarde en tarde surge el hombre genial que brillando con luz propia engendra una obra original, un hecho sobresaliente, un nuevo invento, una obra de arte o lo que sea, que nos reivindica a todos como especie inteligente, y es entonces cuando aprovechándonos de él la humanidad entera da un paso más, un paso auténtico y firme en su caminar histórico hacia un más allá que todavía desconoce en su mayor parte.

Posiblemente sea la envidia que nos corroe a los que no gozamos de la luz brillante de la originalidad que poseen los auténticos creadores, la razón última y escondida que nos hace despreciar las copias, especialmente si se muestran sin tapujo alguno, a pecho descubierto, y hacemos como si no viéramos las copias restantes, aquellas que ocultamos bajo un falso manto de originalidad, buscando disimularlas para hacerlas pasar por auténticas creaciones como sepulcros blanqueados, y tratar así de justificar nuestra existencia y nuestro trabajo



de simples mortales. Si aprendiéramos a vivir con nuestras limitaciones, asumiendo lo auténtico cuando realmente lo es, y lo falso de igual forma; y aprendiéramos también a respetar las copias como obras y hechos que nos permiten a todos disfrutar de las beneficiosas grandezas y cualidades que encierran las obras originales, que por el simple hecho de ser únicas y mortales, resulta imposible de repartir y mantener en el tiempo por los siglos de los siglos, tal vez viviríamos más felices y no malgastaríamos tantos recursos inútilmente. Y esos recursos materiales y económicos que despilfarramos tratando de buscar originalidades estúpida-mente, y que tanto necesitamos en épocas críticas como en la que nos encontramos y nos encontraremos reiteradamente si el mundo no cambia su rutinario caminar,

**“respetar las copias que nos permiten a todos disfrutar”**

por su carácter limitado, tendrían que hacernos frenar responsablemente nuestros impulsos patológicos a querer ser originales y geniales, cuando en realidad somos, en el mejor de los casos, sencillos y hábiles artesanos de copias, que en mayor o menor medida nos afanamos por mostrar los aspectos más sobresalientes de las obras originales con fortuna sumamente variable. Si observamos el mundo de los puentes con espíritu crítico, difícilmente seremos capaces de descubrir en ellos una veintena que realmente podamos decir que son obras auténticamente maestras y que como tales pasarán a la historia. En el campo de la restauración, todos los autores que se enfrentan a la recuperación de un puente, un castillo, un palacio o un simple edificio por vulgar que sea, difícilmente asumen con naturalidad, que bajo ciertas condiciones, posiblemente la solución más práctica y eficaz sea el de echarlo abajo, el acabar de destruirlo de una vez y rehacerlo tal y como se encontraba cuando fue construido por primera vez, copiándolo miméticamente.

Antes que me arrojen al fuego eterno por mis anteriores palabras, recuerdo a todos que he dicho que bajo ciertas condiciones; y esas condiciones pueden concretarse perfecta y claramente, sin tener que nadar en la ambigüedad característica del restauro.

Si los valores de las obras que pretendemos restaurar se salen y escapan fuera del ámbito estricto de las mismas, y andan dentro de lo que podríamos llamar la memoria visual histórica que tienen los pueblos de ellas, basada esencialmente en recuerdos, hechos y vivencias que flotan en el aire que las rodea, pero sin que for-

men parte esencial de ellas, porque en sí mismas sus materiales y formas carecen de valores intrínsecos, estaremos en condiciones de poder actuar libremente en su restauración, demoliéndolas y reconstruyéndolas de nuevo como solución técnica más eficaz y económica.

De igual forma podemos y debemos actuar, si cualquier circunstancia arruina una obra de valor notable, estando en el ánimo de todos que merecía la pena su conservación por sus especiales cualidades funcionales, formales, visuales o cualquier otra razón que la sociedad en su conjunto estime oportuno conside-



Fig. 2. Un aspecto del puente de Colonia copiado miméticamente tras ser destruido en la II Guerra Mundial.



Fig. 3. Campanile original cayéndose y el clon que vemos cuando visitamos la Plaza de San Marcos de Venecia.

rar, para catalogarla como un bien patrimonial histórico: ¿Quién nos impide copiarla de nuevo y levantarla en el lugar que ocupaba? ¿Qué crimen cometemos recuperando la mayoría de los valores posibles que poseía la obra original si lo hacemos cuidadosamente?

Echando la vista atrás sobre la arquitectura, ahí se encuentra la copia del Campanile de la Plaza de San Marcos de Venecia, cuyo original arranca por el siglo IX y se remata en el siglo XVI, experimentando continuos retoques

aquí y allá, reparándose los daños que el tiempo, los rayos y las tensiones que en forma de grietas manifestaba su estructura resistente, hasta que en 1902 se viene abajo de puro cansancio, siendo reconstruido miméticamente posteriormente, utilizando el hormigón armado como base estructural en su reconstrucción con un resultado formal y visual nada desdeñable. ¿Cuántos turistas realmente conocen la auténtica historia del Campanile? ¿Importa tanto, si lo que realmente se desea conservar, ver y recordar es la

imagen que todos los venecianos y sus visitantes tienen de la plaza, la fachada de San Marco y a su derecha como un tótem orgullo de Venecia, su picudo Campanile enladrillado?

Gracias a una sabia copia, todo el mundo en general y los barceloneses en particular, pueden disfrutar del magnífico y emblemático pabellón que en su día Mies Van de Rohe diseñó y construyó para la Exposición Internacional de Barcelona de 1929 y que fue desmontado al finalizar la misma.



Fig. 4. Pabellón de Mies Van der Rohe original construido para la Expo de Barcelona de 1929 y copiado miméticamente en los años ochenta del siglo pasado por iniciativa de Oriol Bohigas.

**“la clonación de obras desaparecidas abre un mundo infinito de posibilidades”**

¿Hizo mal Oriol Bohigas en promover en 1980 el copiar miméticamente el tan citado y admirado pabellón de Mies para que a escala real pueda valorarse mejor lo que es un hito referencial de la historia de la arquitectura del siglo XX? ¿Sería mejor contemplar semejante obra en unas pocas fotografías en blanco y negro, incluso asumiendo que dichas fotos fueran las originales



que se hicieran del Pabellón en 1929? Allá cada cual con su conciencia, pero al menos yo lo tengo clarísimo.

*“Por otro lado, una vez abierta la puerta de la clonación de obras desaparecidas (o a punto de desaparecer), puesto que la tecnología lo permite con una calidad cada día mayor, se nos abre un mundo infinito de posibilidades, ya que son miles las piezas y edificios*

*maravillosos susceptibles de ser clonados. ¿Por qué no hacerlo? ¿Por qué no reproducir un edificio racionalista y no una iglesia barroca o un palacio del Renacimiento? Quizás así conseguiríamos, recuperar parte de nuestro patrimonio y por tanto de nuestra identidad.”* (La Clonación Arquitectónica-Ascensión Hernández. Editorial Siruela. 2007).

Si como hemos dicho anteriormente, el valor de lo que se quiere restaurar reside exclusivamente en la imagen sentimental y sociológica que aporta a los ciudadanos la obra que convive a diario con ellos, resulta técnicamente infinitamente más interesante bajo todos los puntos de vista el hacerla nacer de nuevo, reconstruyéndola con la imagen original que pervive en el recuerdo que se desea mantener y conservar.



Fig. 5. El Alcázar de Toledo: Reconstruido miméticamente tras la Guerra Civil del 36 por el valor simbólico que representó, y que personalmente creo que todavía representa de un hecho que ojalá no se repita nunca. Como ruinas ruskinianas de aquel triste episodio, bastante tenemos con las de Belchite.



Ahí está el Alcázar de Segovia, como ejemplo paradigmático del concepto que tratamos de exponer y defender, reconstruido con la tecnología moderna disponible, en vez de tratar de conservar lo inconservable y hacer chapuzas constructivas sumamente costosas, buscando salvaguardar a ciencia cierta el no se sabe qué, ni por qué razones objetivas; y acabar finalmente por no dejar títeres con cabeza de la obra original a costa de los sufridos con-

tribuyentes a los que se engaña miserablemente haciéndoles creer que se está conservando lo que ellos quieren, sin ser verdad. Un ejemplo particularmente representativo de esta filosofía, podría ser la actuación "supuestamente restauradora" que fue realizada sobre el Hotel Palas de Alicante. Por no tirar las cuatro paredes exteriores de mampuestos mal trabados del Hotel, lo único que fue conservado del mismo sin reconstruirse, aunque sí fueron reforzados

tras coserse internamente a una piel de 10 cm de hormigón armado, no respetándose incluso una escalera imperial que era lo único real de valor que tenía el edificio internamente, pero que al no encajar en la idea del aprovechamiento funcional del edificio fue demolida, al igual que todos los enlucidos de morteros a la cal que adornaban dichas paredes, reconstruidos también íntegramente; repito, por no tirar dichos muros de mampuestos mal trabados,



*Fig. 6. Dos vistas de lo único que fue conservado del Hotel Palas de Alicante, antes de sustituir sus enlucidos de acabado final en sus fachadas; y otras actuaciones llevadas a cabo con idéntica filosofía, dado que la misma goza del beneplácito de los que no tienen que financiarla con su dinero, en cualquier ciudad española, como por ejemplo reflejan estas casas de Valladolid.*



hubo que acudir a micropilotar, al jet-grouting, a un andamio costoso y alguna que otra oración a la Santa Faz alicantina para que un viento anómalo, o algún duende maligno que haberlos los hay, diera al traste con los sacrosantos mampuestos de piedra sin causar daños personales a nadie.

Los coste necesarios para mantener los muros perimetrales en pie del Hotel Palas, mientras se construía el sótano necesario para los nuevos servicios de

oficina que presta el edificio, prácticamente han duplicado el presupuesto previsto para toda la obra; dejando de lado y al margen los enormes retrasos en tiempo que las operaciones constructivas de sostenimiento requirieron

Cuanto más sensato hubiese sido el haber realizado una copia del edificio sin más, manteniendo lo único que socialmente se requería y se pretendía de la actuación: La conservación de la imagen que el Hotel Palas aporta a los

alicantinos; mientras que todo lo demás carecía de sentido en una restauración sin valores de tipo alguno, salvo el puramente nostálgico. Aunque siempre las cosas pueden idearse y materializarse todavía peor, cuando se abandona cualquier viso de racionalidad y se invade la escenografía restauradora con toda su crudeza y al precio que sea con tal de llevarla a término; o se copia sin respeto alguno objeto que se pretende copiar denigrando todo el proceso. ■



Fig. 7. Restauración o pura escenografía: ¿Qué discurso puede sustentar lo realizado? Respuesta: El que se quiera, siempre y cuando haya alguien dispuesto a pagarlo con el dinero ajeno.



Fig. 8. Copia de un puente romano en la autovía de Cáceres-Mérida, que sólo cabe interpretarlo en clave cómica, o fallera si no se ofenden los valencianos.



# Kaikus, fórcole y otras fábricas

MANUEL REVENTÓS

INGENIERO DE CAMINOS. GERENTE DE INGENIERÍA REVENTÓS.



El Kaiku.

La vida cotidiana nos proporciona objetos con un diseño delicioso. Sin estar ocultos, muy a menudo pasan desapercibidos hasta que, bajo una mirada "diferente", apreciamos su valor. Descontextualizados, fuera de su espacio vital, pasan a ser objetos que nos pueden subyugar por su belleza, por su composición: formas, texturas, coloración...; les atribuimos valor artístico pasándolos a la categoría de "esculturas", obras de arte o decorativas. Lo que me fascina de este proceso, en el que ha desaparecido la utilidad del objeto, es que, contradictoriamente, éste tiene su origen en la búsqueda de una solución práctica a un problema. Es parecido al edificio de las Matemáticas, con vida intelectual autónoma pero basado en las simples operaciones de contar, medir y comparar.

Al desandar el camino e investigar los porqués de la pieza vamos viendo las razones que han inspirado la depuración del objeto: su diseño; los problemas que se han ido resolviendo hasta llegar a la solución que se nos presenta la vista; éste desandar el camino es también un precioso proceso de adquisición de conocimiento que llena de contenido la percepción estética simple, pasamos de "contemplar" a "entender" el objeto.

El diseño no es otra cosa que un "proyecto de realidad", sin esta vocación de ser real no existe diseño alguno. Los problemas a resolver pueden ser de muy diversa índole en función de lo deseado y precisan de sabidurías diversas para tener éxito pero hay una cuestión inherente al diseño: siempre que se quiere construir alguna cosa nueva aparece el "problema"

de la belleza. Otorgaremos el calificativo de "buen diseño" cuando resuelva las exigencias prácticas y a la vez nos emocione su aspecto formal, un final feliz.

Cerca de mí hay objetos que he sustraído de su entorno cuya contemplación me acompaña en muchos momentos, centraré la mirada en dos de ellos: un Kaiku y una Fórcole, el primero es vasco, de la navarra euskaldun, el segundo veneciano.

"pasamos de 'contemplar' a 'entender' el objeto"

## EL KAIKU

El Kaiku es un cuenco de madera de una pieza con forma de tronco de cono invertido (o cilindro) e inclinado, está dotado con una asa doble: externa al cuenco una orejeta y sobre el recipiente un simple mango. Los de primera calidad son de boj, los hay también de abedul. Lo descubrí en una fotografía que decoraba un restaurante cerca de Pamplona, me fascinó el mango y la conicidad inclinada. Me consiguieron uno poco después y desde entonces me acompaña.

El Kaiku sirve para ordeñar vacas, los hay de entre 3 y 12 litros de capacidad. A parte de sus valores estéticos, el Kaiku sorprende al ver cómo ha ido resolviendo y equilibrando los problemas que se presentaban a su diseñador: la estanquidad y resistencia mediante el monolitismo de la pieza, el peso por sus delgadas paredes y fondo (es ligero en contraste con su contundencia volumétrica), la diferencia en planta entre la posición de la ubre del animal y el apoyo (las rodillas de quien ordeña sentado) está resuelta por la conicidad inclinada, la orejeta, para manipu-





La Fórcola en pleno uso.

larlo mientras se ordeña, y el mango para transportarlo una vez lleno. Tengo una duda: la aleta en la orejeta-mango ¿Es estética? ¿Es para apoyar el pulgar?

**LA FÓRCOLA**

La Fórcola apareció en mi vida cruzando el Gran Canal veneciano en góndola, en uno de los pasos que por unos céntimos te ahorran una caminata. Sentado en el banco me fijé en el punto de apoyo del remo que manejaba el gondolero y me impresionó su belleza. Hay muchos tipos de Fórcole en función de las características y posición del gondolero (puede variar de un gondolero a otro según su estilo de remar y complejión), también de otros factores (número de gondoleros, embarcación de regata, posición de la pieza en la góndola,...) la típica es la Fórcola da poppa ya que el gondolero se sitúa normalmente atrás. La Fórcola es una pieza de madera tallada de nogal. Su sutil y sofisticada forma alberga nada más y nada menos que 8 puntos diferentes de apoyo del remo. Desde la simple horquilla

o el remo atado a un palo vertical la Fórcola ha evolucionado mucho, ha encajado hendiduras, se ha retorcido tridimensionalmente, es una joya de la adaptación ergonómica.

El proceso de diseño en la Ingeniería Civil difiere en poco o en nada del diseño de un Kaiku o una Fórcola. Puede ser un puente o un cuenco, un puerto o una Fórcola. Los productos de la Ingeniería Civil son inmuebles territoriales, con influencia en el paisaje, de grandes dimensiones, caros, realizados mediante técnicas cada vez más sofisticadas; los problemas son otros pero

la manera de enfocarlos y resolverlos NO. Los ejemplos precedentes muestran cómo adaptarse a la situación, de una manera inteligente y eficaz, económica y bella. Ambos maravillan por su adaptación formal a las circunstancias, cada detalle, cada elemento está en su sitio y, además, admiten múltiples soluciones para particularizar aún más si cabe su adaptación. El resultado son piezas que están en tensión, en tensión dinámica. Resuelven el problema lógica y armónicamente y encuentran su expresividad en el desarrollo del programa de necesidades. Quiero hacer especial men-

ción al contorsionismo de la Fórcola que en nada es fruto de una búsqueda para impresionar al espectador. En general están desnud@s pero tampoco tienen vetado el ornamento, hay Kaikus y Fórcole grabados sin vergüenza alguna; a mi particularmente me complacen más las soluciones desnudas pero esto ya es una opción personal. Creo que los buenos diseños en Ingeniería Civil tienen que seguir estas pautas. ■



- 1. Naseo de sora (Nariz superior)
- 2. Morso (Apoyo para boga normal)
- 3. Naseo de soto (Nariz inferior)
- 4. Comio
- 5. Apoyo para boga lenta (canal estrecho, cruce con otra barca)
- 6. Apoyo de arranque
- 7. Naseo da siar (Nariz de freno)
- 8. Apoyo de freno
- 9. Apoyo para viraje brusco a la derecha
- 10. Zanca (Apoyo para viraje brusco a la izquierda)
- 11. Apoyo para marcha atrás (Cia)
- 12. Apoyo para desacelerar o para viraje brusco a la derecha



# Proyecto y construcción hoy en el Templo de la Sagrada Familia

JORDI FAULI

ARQUITECTO. DIRECTOR ADJUNTO DE LAS OBRAS DEL TEMPLO DE LA SAGRADA FAMILIA.

**A**ntoni Gaudí proyectó el Templo de la Sagrada Familia de forma que pudiera ser continuado y acabado por sus sucesores con fidelidad a sus ideas. La documentación que dejó a punto contenía información clara sobre el conjunto del edificio, la descripción detallada de partes muy importantes en modelos de yeso y, también, el método a seguir para la definición concreta del resto de partes o elementos.

Se inicia el artículo con una sucinta descripción del exterior y del interior del Templo. A continuación se explicará el proyecto de las naves construidas estos últimos años, para acabar con una breve descripción del proyecto de las torres de los cimborrios centrales del edificio, actualmente en proceso de elaboración de su proyecto definitivo para su construcción en los próximos años.

## EXTERIOR DEL EDIFICIO: COMPOSICIÓN

### PIRAMIDAL

Los planos de conjunto elaborados por Gaudí describen el conjunto de las die-



Imagen 1. Fachada del Nacimiento.

ciocho torres y fachadas que explican la vida y enseñanzas de Jesús y la presencia de la Iglesia en el mundo, dispuestas en una estructura piramidal, con las doce torres más bajas de alrededor de los cien metros de altura que representan los apóstoles en las tres grandes fachadas de acceso (Nacimiento, Pasión y Gloria) y las otras seis encima del crucero y del ábside. *Imagen 1. Alzado desde la Fachada del Nacimiento.* El estudio de estos planos nos ha permitido definir las alturas de las torres y de las bóvedas interiores de acuerdo con el módulo de 7,5 metros, que es la división de la longitud del interior de la iglesia (90 metros) por doce, o de la anchura de la cripta iniciada por el arquitecto Villar (30 metros) por cuatro. Así, la altura de la torre central dedicada a Jesucristo será de 172,5 metros (veintitrés veces el módulo de 7,5), las cuatro torres de los evangelistas que lo acompañan, 135 metros (dieciocho veces el módulo), la torre de la Virgen María, cimborrio del ábside, de 127,5 metros (diecisiete veces el módulo). Unos planos que Gaudí presentó en el Ayuntamiento explican cuáles eran las visuales que prefería y que permitirían la visión completa del conjunto de torres desde puntos de vista oblicuos, con objeto de poder ver el efecto de la volumetría del conjunto.

*Imagen 2. Planta estrellada.* Cuatro construcciones cupulares parabólicas o hiperbólicas se sitúan en las cuatro esquinas y están unidas por una construcción baja, el claustro, que circunda el edificio.

*Imagen 3. Planta del Templo.*

## EL INTERIOR: NAVES CON ESTRUCTURA ARBÓREA Y MÚLTIPLES ENTRADAS DE LUZ

En el interior, la bóveda más alta es la del ábside a 75 metros de altura (diez veces el módulo); el resto siguen también la modulación: 60 metros la del crucero, 45 la de la nave central, 30 la nave lateral, 15

la de la Cantoria o coro. *Imagen 4. Sección longitudinal del Templo.*

De una manera parecida están ordenados según módulos los diámetros de las columnas y de las aberturas de los ventanales. Las columnas tienen unos diámetros adecuados al peso que tienen que soportar y múltiplos de 17,5 cm (el diámetro de la columna del claustro que el mismo Gaudí construye). Las cuatro columnas centrales del crucero que soportan la torre central de Jesucristo

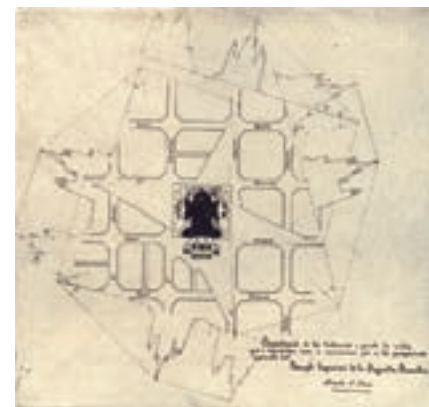


Imagen 2. Planta estrellada, visuales.

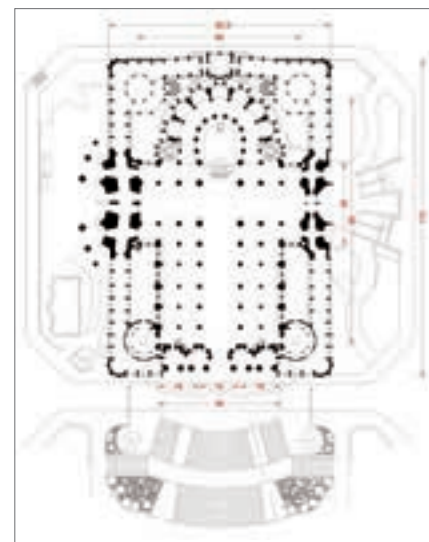


Imagen 3. Planta.



Imagen 4. Sección longitudinal.

tienen un diámetro de 210 cm, doce veces 17.5 cm y el resultado de la multiplicación de los primeros números primos (1x2x3x5x7). Decía Gaudí “Vitruvio es un tratadista que supone un módulo para cada orden. No conocía el espíritu griego, en que cada edificio tiene su módulo” (Joan Bergós. Conversaciones de Gaudí con J. Bergós). La modulación basada en un sistema duodecimal y este simple sistema de proporciones da unidad y armonía al conjunto de proyecto y ha facilitado la elección de las dimensiones adecuadas de cada elemento por parte de los sucesores de Gaudí.

La arquitectura que Gaudí propone para el futuro de la Sagrada Familia es la consecuencia de su trayectoria arquitectónica y sobre todo de sus últimos doce años de dedicación en exclusiva al Templo. Con lo que él llamaba una nueva arquitectura, Gaudí creó en el interior un



Imagen 6. Maqueta funicular.

espacio de culto, celebración y plegaria, especialmente proyectado para que la persona de nuestro tiempo se sintiera bien acogida para encontrarse consigo mismo y con Dios. *Imagen 5. Interior de las naves.*

Como es sabido, la trayectoria profesional de Gaudí destaca por la construcción de estructuras equilibradas que comunican los pesos a los cimientos por la trayectoria más directa y con un uso reducido de elementos estructurales. La estructura se hace evidente en la forma del edificio. Así, construye arcos parabólicos y catenarios en distintos edificios y proyecta la iglesia de la Colonia Güell con una maqueta invertida poli funicular, que respeta de una manera estricta la ley

**“el objetivo que tenía Gaudí era conseguir la continuación de su construcción”**

de la gravedad. *Imagen 6. Maqueta poli funicular de la Colonia Güell (fotografía invertida).* Como resultado de este cálculo, las columnas de las partes construidas de la iglesia son inclinadas de acuerdo con las funículas de la maqueta.

Siguiendo el mismo modelo estructural de la Colonia Güell, Gaudí proyecta una estructura de apoyo de la nave principal de la Sagrada Familia –que sustituye unas primeras neogótica y de arcos parabólicos- formada por un conjunto de columnas inclinadas que en cada piso o bóveda horizontal quedan unidas entre ellas y donde cambian de inclinación y se ramifican. *Imagen 7. Maqueta de la segunda versión de las naves.*

Unos años más tarde, propone para las naves un nuevo sistema estructural y formal, que será el definitivo. Propone por primera vez en la historia árboles estructurales. Las columnas inclinadas se ramifican para soportar las bóvedas, cubiertas y torres. Subdivide el peso de estos elementos en partes, al centro de gravedad de las cuales hace llegar una columna con la inclinación adecuada,





*Imagen 5. Interior de las naves.*

columna que hacia abajo se agrupará con otras para comunicar el peso a las columnas inferiores y a los cimientos. Nudos y columnas resuelven las ramificaciones, en la gran parte de los casos, sin la necesidad de un elemento horizontal que las una al resto del edificio. El árbol que propone Gaudí es asimétrico ya que acaba en dos bóvedas de alturas diferentes. El número de columnas de cada rama depende de los elementos soportados y cada columna tiene la dimensión y la inclinación adecuadas para apoyar el peso de las partes del edificio. El árbol de la nave central, definido por el arqui-

tecto en el modelo de yeso a escala 1:10, se compone de dos ramas que surgen del nudo estructural: la principal se bifurca a 30 metros de altura para apoyar las bóvedas y cubiertas de la nave central a 45 metros, y la posterior se ramifica en cuatro columnas para apoyar los ventanales de la nave central y las bóvedas y cubiertas de la nave lateral a 30 metros de altura. Los esfuerzos horizontales de viento se soportan en primera instancia con los ventanales y las bóvedas de 30 y 45 metros y por el piso inclinado del coro que se apoya en las columnas de la nave lateral, como si se tratara de un contra-



*Imagen 7. Maqueta naves.*



*Imagen 9. Base de la torre de Jesucristo.*

fuerte interior. *Imagen 8. Fotografía del árbol de la nave central.* El árbol del crucero se ha proyectado siguiendo la misma lógica estructural. Se sitúa hacia el centro del crucero, la orientación lógica para soportar con la mayor estabilidad la torre central y la torre del evangelista, situadas por encima de las bóvedas de 60 y 45 metros respectivamente. Los diámetros y alturas de sus columnas son una vez y media mayores a las del árbol de la nave central, como el número de vértices de la columna inferior (12 y 8) y sus diámetros (210 y 140 cm). La rama principal se ramifica a los 45 metros de altura en

cuatro columnas para apoyar una cuarta parte de la bóveda del crucero y de la torre de Jesucristo, la cual estará apoyada en el conjunto de los cuatro árboles por dieciséis columnas, cuatro en el centro para apoyar el núcleo central de ascensores y escaleras, y doce alrededor para apoyar la piel de la torre, formada por doce paraboloides. Cuando estas doce columnas sobrepasan las bóvedas del crucero y entran en el espacio que será la base de la torre se subdividen cada una en dos (veinticuatro columnas) creando un cilindro de columnas trianguladas en forma de acordeón que servirá para apoyar y estabilizar el peso de la torre. *Imagen 9. Dibujo de la Sala del Crucero, base de la torre de Jesucristo.* La rama posterior del árbol se subdivide en dos columnas para apoyar una cuarta parte de la torre del evangelista.

Gaudí calculó los árboles con estática gráfica, cálculo explicado en 1922 por el arquitecto ayudando de Gaudí Domènec Sugranyes en una conferencia en la Associació d'Arquitectes de Catalunya. En esta conferencia expresa que “el diagrama de fuerzas da una sensación de reposo y tranquilidad que satisface al ánimo”. Las naves han sido calculadas estos últimos veinticinco años –como lo es actualmente la estructura de las torres– por los arquitectos Carles Buxadé, Joan Margarit, Josep Gómez Serrano, Ramon Ferrando y Ágata Buxadé con elementos



Imagen 8. Árbol nave central.

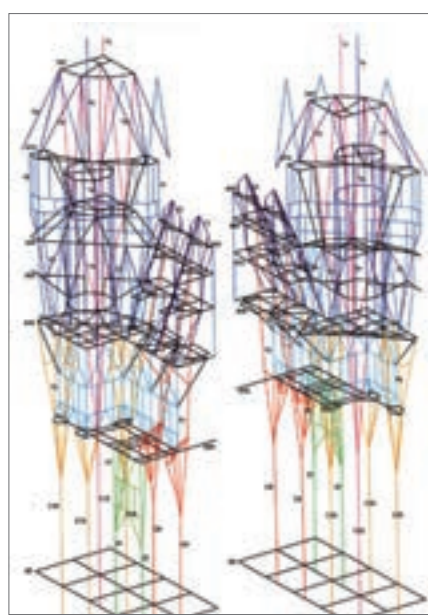


Imagen 10. Modelo estructural del crucero.





*Imagen 11. Bóvedas de la nave lateral.*

finitos de tipo barra o lámina, siguiendo las normativas vigentes y los criterios y conocimientos actuales del cálculo de estructuras. Para hacerse una idea de la magnitud de los esfuerzos, las cuatro columnas del centro del crucero que apoyarán la torre central de Jesucristo se han calculado para resistir alrededor de 9000 toneladas. *Imagen 10. Modelo estructural del crucero.*

Se ha resuelto el conjunto con una estructura continua de hormigón armado, técnica que Gaudí usó en los pináculos de la Fachada del Nacimiento y que proponía para las naves a fin de absorber los esfuerzos de viento y para dar a las bóvedas la rigidez necesaria para comunicar el peso a las columnas de apoyo.

Las columnas, al llegar a la bóveda, se abren en ábacos hiperbólicos para recoger mejor el peso de la bóveda, la cual se



*Imagen 12. Bóvedas visión cenital.*

vacia con tragaluzes hiperbólicos para aligerarse de peso en los espacios entre columnas y para la entrada de luz cenital. *Imagen 11. Bóvedas de la nave lateral.*

#### **FORMAS NATURALISTAS, GEOMÉTRICAS Y CONTINUAS**

En sus últimos proyectos, Gaudí se propuso de proyectar formas naturalistas –como las que había construido en la Casa Milà y en el Parc Güell–, pero generadas por geometrías de doble curvatura (cuádricas), que ofrecen un buen comportamiento acústico y de difusión de la luz, aparte de ser superficies que reparten uniformemente las tensiones. Así, proyectó y construyó el edificio de las escuelas de la Sagrada Família con conoides en las fachadas (con una inercia muy superior a una fachada plana) y en la cubierta, y se inició en el uso de parabo-

loides en la iglesia de la Colonia Güell. En sus maquetas de yeso de gran dimensión definió los procedimientos y reglas de intersección y unión de las cuádricas, los cuales se han descubierto, clasificado y sistematizado durante la restauración de las maquetas iniciada por sus discípulos después de la Guerra Civil y durante el proceso de investigación de las maquetas originales dirigido por el arquitecto Jordi Bonet previo a la construcción de la nave principal. El conocimiento preciso de las reglas del proyecto original de Gaudí y de sus posibilidades de desarrollo ha permitido proyectar el crucero y el ábside, que Gaudí definió en dibujos, pero no en maquetas en tres dimensiones. El conjunto de las naves contiene un recopilatorio de procedimientos de composición de superficies regladas susceptible de ser usado por arquitectos en otros edificios, tal como lo han hecho sus discípulos y sucesores como Isidre

**“una sensación de reposo y tranquilidad que satisface al ánimo”**

Puig Boada, Lluís Bonet Garí o el mismo Jordi Bonet Armengol. *Imagen 12. Visión cenital de las bóvedas.*

El proyecto de las naves –como también el edificio de las escuelas– entusiasmó al arquitecto Le Corbusier cuando visitó la Sagrada Familia el 1928, dos años después de la muerte del arquitecto. En los reportajes periodísticos del día siguiente se lee: “de la Sagrada Familia Le Corbusier admiró la racionalidad, estimando sobre todo las realizaciones últimas de la maqueta a base de perfectos paraboloides, hiperboloides y helicoides”.

Gaudí pretendía que hubiera continuidad formal entre los elementos de los árboles estructurales y entre las superficies de las bóvedas y de los ventanales. A una estructura arbórea correspondían unas formas con continuidad natural. Él mismo opinaba: “Las formas continuas son las perfectas” (César Martinell. Gaudí i la Sagrada Família comentada per



*Imagen 13. Columna de ocho vértices en la base.*



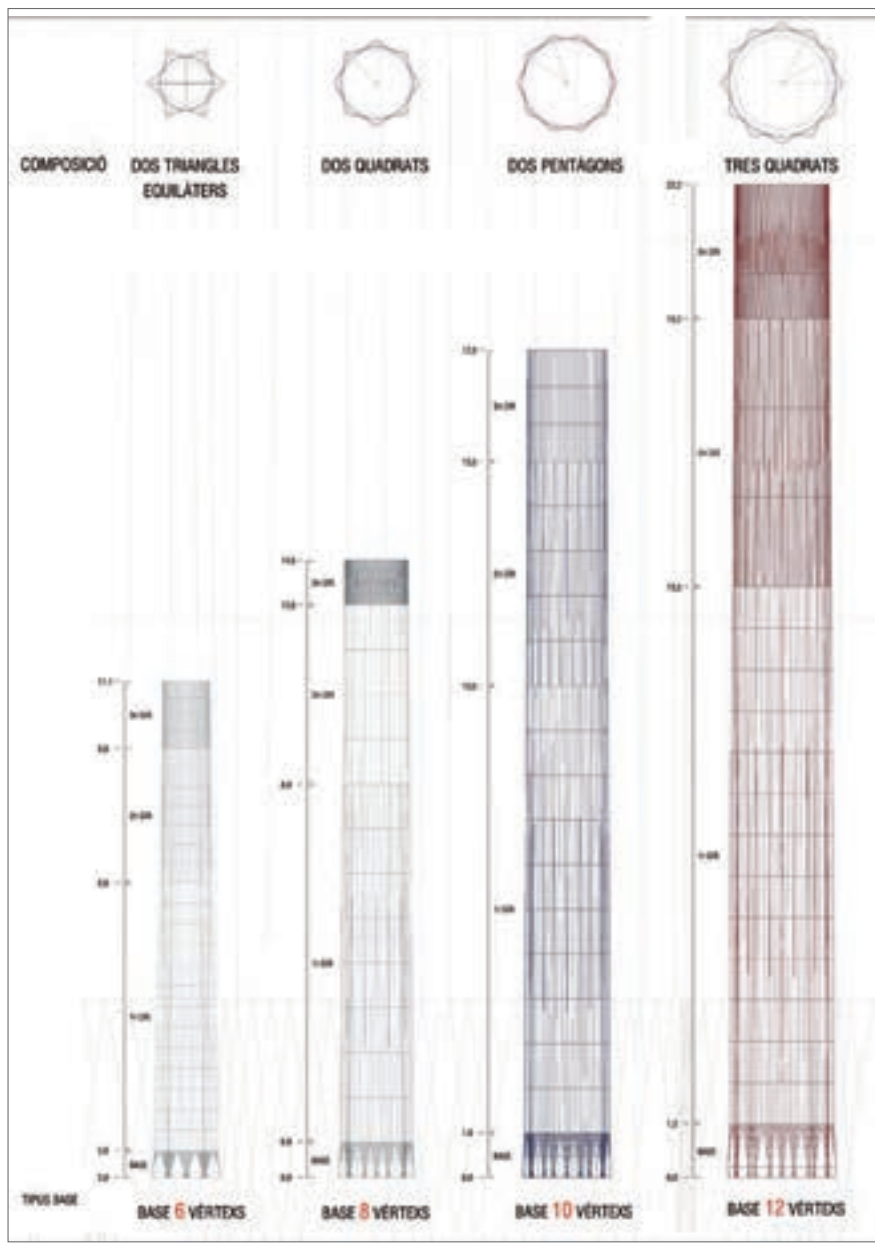


Imagen 14. Las cuatro columnas principales.



Imagen 15. Ramificación encima del coro.



Imagen 17. Ventanal nave central.

ell mateix). Para esto creó una columna nueva en la historia de la arquitectura que se transforma continuamente y propuso un habilidoso método de combinación de cuádras para las bóvedas.

#### **LAS COLUMNAS**

El tipo de columna que creó le permitió enlazar con continuidad las ramificaciones. Antes de idear la columna, había ensayado columnas salomónicas que siguen el giro helicoidal presente a la naturaleza. Este columna no tiene una gran eficacia estructural y no era fácil de enlazar las unas con las otras. Le convenía una columna que transformara su sección con la altura y así facilitar su enlace con otras. También buscaba una columna con una buena estabilidad y

**“combinaciones de polígonos hasta un polígono cercano al círculo.”**

que expresara movimiento. Se le ocurrió intersectar dos columnas de crecimiento helicoidal con la misma base, la primera girando a la derecha y la segunda a la izquierda. Así, los vértices de la base se reducen de diámetro a medida que la columna crece, y se dobla el número de aristas o vértices. *Imagen 13. Columna de la nave central, de ocho vértices en la base.* Las cuatro columnas inferiores de las naves –con un aspecto general que recuerda las columnas clásicas griegas, pero con un afinamiento hacia arriba debido al continuo cambio de sección– tienen seis, ocho, diez y doce vértices a la base, que se transforman en doce, dieciséis, veinte y veinticuatro vértices iguales en una altura en metros igual al número de vértices de la base, seis, ocho, diez y doce.

El doble giro continúa y en una altura mitad de estas (tres, cuatro, cinco y seis metros) los vértices se han multiplicado por dos (veinticuatro, treinta y dos, cuarenta y cuarenta y ocho). Un tercer giro se produce en una altura mitad al anterior (uno y medio, dos, dos y medio y tres

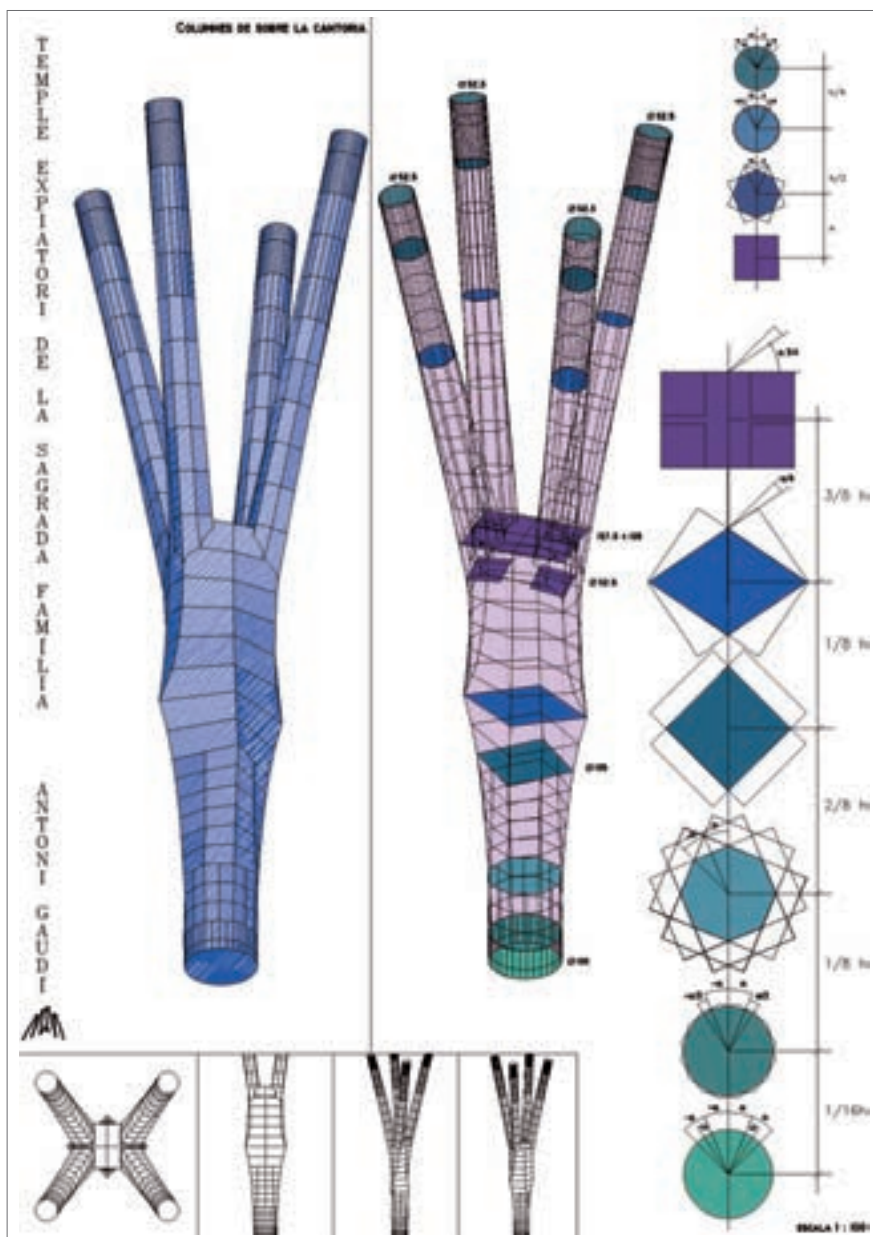


Imagen 16. Ramificación del coro.

metros), de forma que las columnas finalizan con cuarenta y ocho, sesenta y cuatro, noventa y dos vértices. Si sumamos las alturas de los tres giros, obtenemos las alturas de las cuatro columnas sin contar sus bases: diez y medio, catorce, diecisiete y medio y veintidós metros, diez veces sus diámetros interiores, los cuales son el resultado de multiplicar el número de vértices de la base por los 17,5 cm: ciento cinco centímetros, ciento cuarenta, ciento setenta y cinco, doscientos diez. Son, por tanto, columnas con una esbeltez de 1:10, la de las columnas corintias griegas. *Imagen 14. Plano de las cuatro columnas principales.*

Las columnas inferiores acaban en unos nudos formados por elipsoides, con unas dimensiones proporcionales a los diámetros de las columnas. Del nudo surgen las distintas ramificaciones que presentan continuidad formal, gracias a estar formadas por columnas de doble giro helicoidal. Para enlazarse con continuidad, unas columnas crecen hacia arriba y otras hacia abajo; por ejemplo las tres columnas que llegan a los nudos acaban en el círculo dentro del nudo, la inferior con crecimiento hacia las bóvedas y las dos superiores, con crecimiento hacia abajo. La columna inferior culmina su crecimiento en el nudo y lo comunica a



Imagen 20. Presbiterio y bóvedas del ábside.

las dos columnas superiores que se despliegan hacia arriba desde el círculo hasta convertirse en los polígonos que darán lugar a las ramificaciones.

En la ramificación de encima de la Cantoria, la columna inferior se abre para convertirse arriba de todo en un rectángulo, que es la base de las cuatro columnas superiores. Si describimos su forma empezando por la sección superior, el rectángulo -gracias al doble giro- se convierte hacia abajo en rombos, después en un cuadrado (en la mitad de la altura de la columna), en un octágono y en polígonos de dieciséis, treinta y dos y sesenta y cuatro lados. Las cuatro columnas superiores se





*Imagen 21. Visión desde la entrada principal.*

inician en un cuadrado -cada uno en un vértice del rectángulo-, que se convierte en un octógono (a los cuatro metros) y polígonos de dieciséis (a los seis metros) y treinta y dos lados (a los 7 metros), casi un círculo, para enlazar con tangencia con los capiteles hiperbólicos. *Imagen 15. Fotografía de la ramificación de encima del coro o Cantoria. Imagen 16. Esquema geométrico de la ramificación del coro.*

Todas las ramificaciones se producen con continuidad gracias a las columnas

de doble giro que se transforman de polígonos o de combinaciones de polígonos hasta un polígono cercano al círculo. En la rama posterior del árbol del crucero, por ejemplo, las dos columnas de apoyo de los evangelistas se inician en un hexágono (las de las naves laterales se inician en un cuadrado y las de los ventanales de la nave central en un pentágono); la columna que las recoge y comunica su peso hasta el nudo inferior se inicia arriba con los dos hexágonos, que en el



*Imagen 18. Bóvedas del crucero.*



*Imagen 19. Bóvedas del deambulatorio.*

medio de la altura de la columna se han convertido en un cuadrado y un octógono y un polígono de dieciséis lados al entrar en el nudo. Así se crean unas curvas en el espacio que permiten una bella continuidad entre la columna inferior y las dos superiores.

#### **LAS BÓVEDAS Y VENTANALES**

Los tragaluces y los ábacos o capiteles de las columnas son hiperboloides de una hoja, los primeros vacíos por el interior,

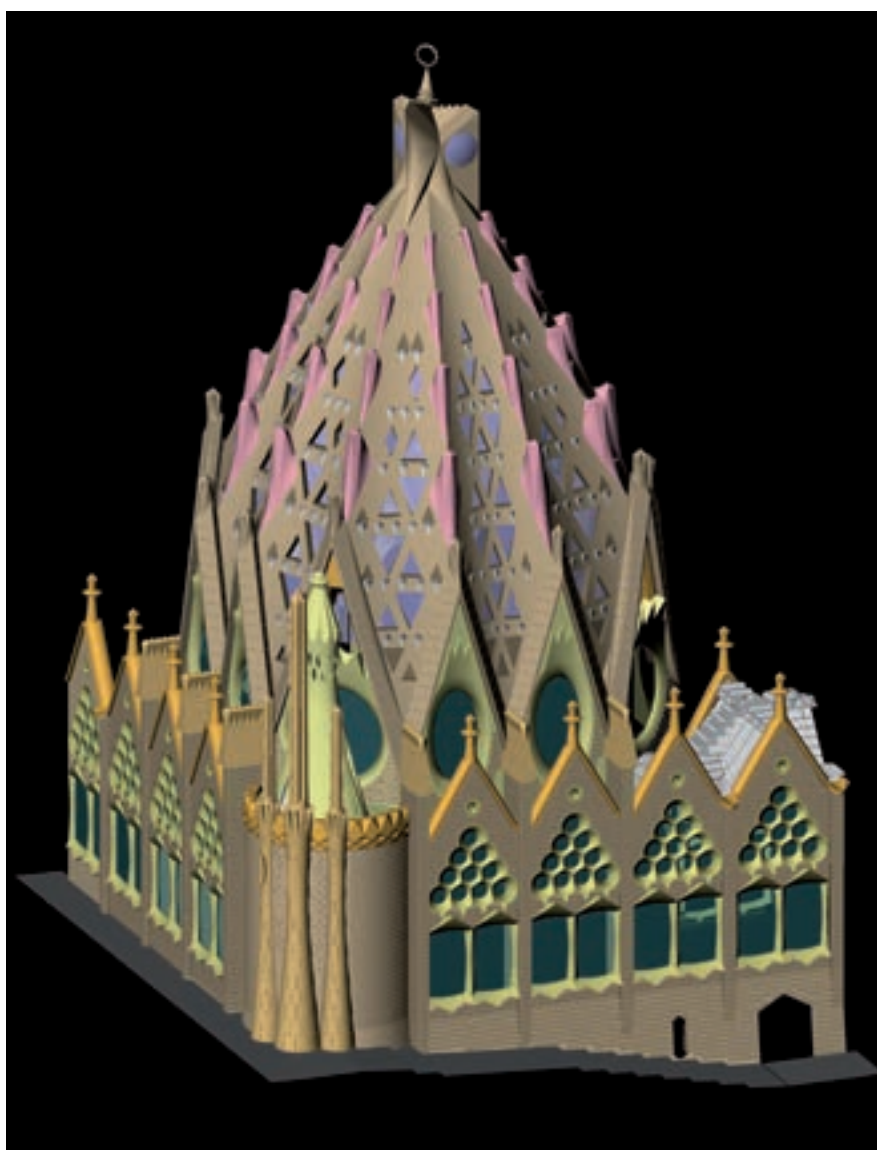
y los segundos macizos. Las aberturas de los ventanales son también hiperbóloides, circulares o elípticos. Un hiperboloide circular tiene dos constantes en su fórmula, la primera el radio de su collarín y la segunda responde a la pendiente de la asíntota de la hipérbola que lo genera y de la recta inclinada que con su giro tangente al collarín circular crea la superficie. El haz de líneas rectas resultado de este giro existe en los dos sentidos y es aprovechado por Gaudí para dar forma al hiperboloide, que es una figura infinita. Lo limita según formas estrelladas dibujadas por las dos líneas rectas tangentes al collarín surgido desde pun-

**“cuatro columnas del centro para resistir alrededor de 9000 toneladas”**

tos de la intersección con los hiperboloides adyacentes. *Imagen 17. Ventanal de la nave central: fotografía y modelo original.*

Las intersecciones entre los hiperboloides son curvas de cuarto grado, que Gaudí generalmente hace desaparecer con las formas estrelladas y con la inclusión de paraboloides situados enlazando las estrellas y limitados por cuatro líneas rectas, dos de cada uno de los dos hiperboloides intersecados. Los paraboloides, que se intersectan con los hiperboloides en líneas rectas comunes, permiten la continuidad entre los hiperboloides de los tragaluces. Para iluminar mejor toda la superficie de la bóveda y para contener los focos de la iluminación nocturna, Gaudí sitúa dentro de los paraboloides unos pequeños hiperboloides, que él mismo dirá que serán como las estrellas de la noche.

La mayoría de las bóvedas se han construido con la técnica de bóveda tabicada o bóveda catalana, adaptada a la forma de los hiperboloides. Las hiladas de rasillas del “senzillat” o primera capa de la bóveda resiguen las líneas rectas de los hiperboloides, tangentes al círculo. Entre las hiladas quedan triángulos de colores verdes y dorado que representan



*Imagen 23. La cúpula de la Sacristía.*

las hojas de palmera que Gaudí quería en la bóveda. El sistema de composición de las bóvedas que Gaudí deja establecido en sus modelos de yeso se puede aplicar en otras situaciones. Así se ha hecho en el proyecto de las bóvedas del crucero y del ábside. El método establecido por Gaudí en la nave principal se ha adaptado a la estructura y forma de cada espacio, concéntrico en las bóvedas del crucero y circular en las del ábside.

Cada una de las bóvedas tiene una expresividad diferente –dentro del mismo estilo- a causa de las medidas de los hiperboloides y de las características de cada espacio. El crucero está presidido por un gran hiperboloide central con rayos dorados, circundado por dos círculos de doce tragaluces cada uno.

Del centro colgará el día de mañana una representación escultórica de la Jerusalén celestial. *Imagen 18. Bóvedas del crucero. Imagen 19. Bóvedas del deambulatorio del ábside.*

La bóveda central del ábside es un gran hiperboloide de unos quince metros de altura y de anchura en la base. En este caso, en la mitad del hiperboloide las rasillas se disponen siguiendo las directrices que giran hacia un lado y en la otra mitad hacia al otro con vidrio veneciano de color azul. El triángulo que resulta en el centro representa Dios creador y se ha ejecutado con rombos y elementos decorativos dorados; al ser visible, como dejó establecido Gaudí, desde la entrada principal es un elemento que contribuye decisivamente a la percepción de unidad





Imagen 24. Ejecución de premontajes de encofrados y armados de los pisos de la Sacristía.

del espacio interior. *Imagen 20. Presbiterio y bóvedas del ábside. Imagen 21. Visión desde la entrada principal.*

El conjunto de las naves del interior expresa armonía gracias a la presencia de las mismas formas y sistemas estructurales, a las proporciones y dimensiones, a la elevación creciente de las alturas de las bóvedas desde las naves laterales hasta el ábside... Las sensaciones espaciales son de esbeltez, verticalidad, placidez, elevación, amplitud, luminosidad... *Imagen 22. Visión cenital de todas las bóvedas del interior. (En portada)*

#### LA SACRISTÍA Y LAS TORRES

La sacristía y las torres centrales corresponden –tal como Gaudí dejó establecido– a un mismo modelo formal. Tanto la cúpula de la sacristía como los cimborrios

centrales tendrán perfiles parabólicos y serán la intersección de paraboloides, con un vértice común en la parte superior. En su cima habrá los pináculos de cada una de las torres, con el simbolismo corres-

**“La estructura se hace evidente en la forma del edificio”**

pondiente a cada una: en la torre central una cruz de cuatro brazos de unos quince metros de largo, a la cual podrán acceder los visitantes, en las torres de los evangelistas una escultura con los tetramorfos,

y en la del ábside, una estrella matutina, símbolo de la Virgen.

Gaudí dejó la sacristía, definida en una maqueta a escala 1:25. El número de paraboloides es de doce, cuatro de simétricos y ocho de simétricos dos a dos. Las directrices rectas de los paraboloides que se entrecruzan dan lugar a unas ventanas triangulares y crean en las intersecciones de los paraboloides unas pirámides invertidas salientes que refuerzan estructuralmente la intersección y aumentan la sensación de verticalidad. Completan la forma de las superficies unos elementos salientes como paseras para el mantenimiento de la cúpula, que se contraponen a los elementos anteriores al ser elementos horizontales que dan sensación de reposo. *Imagen 23. Dibujo de la cúpula de la Sacristía.* La estructura de parabo-



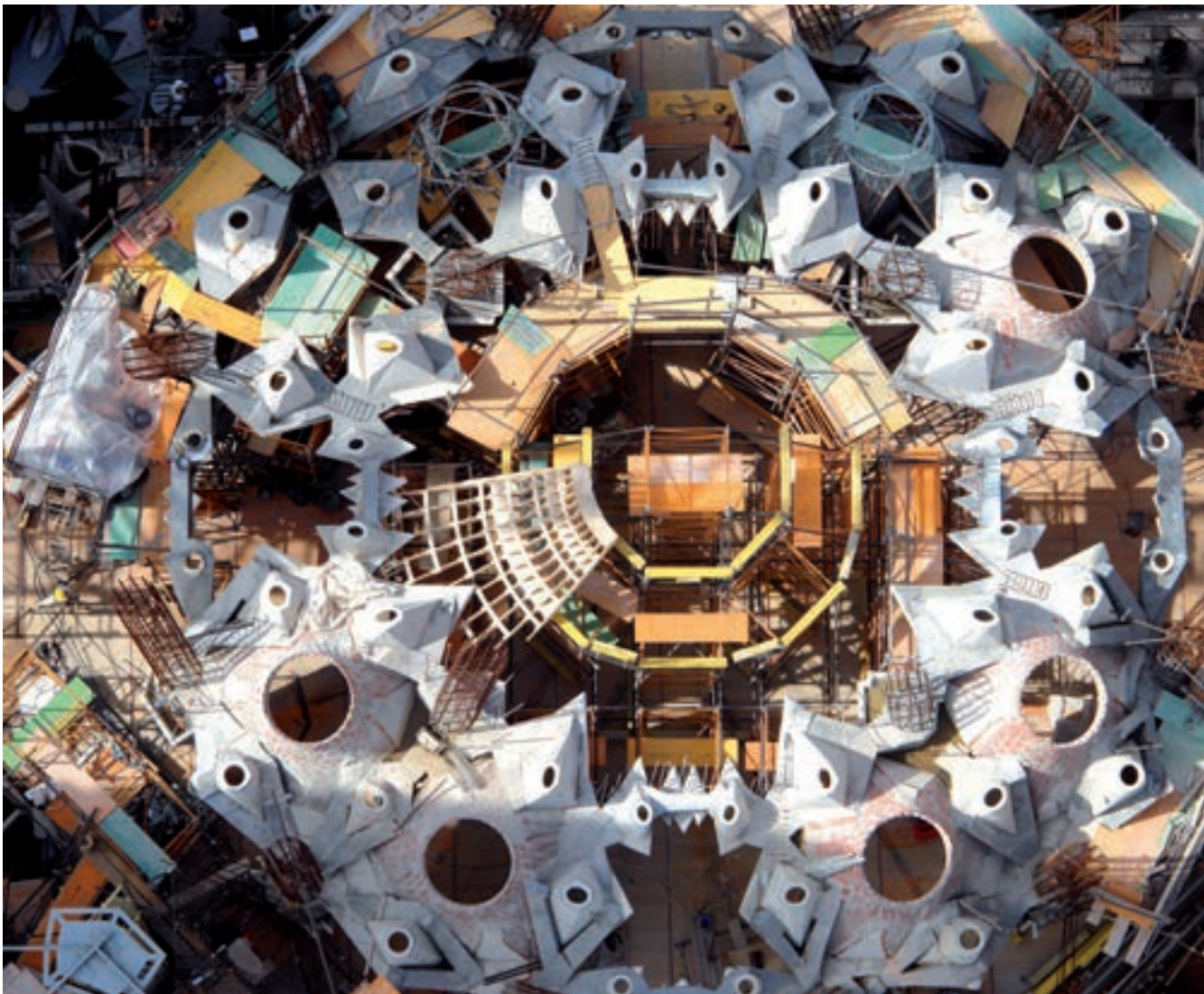


Imagen 25. Construcción de las bóvedas del crucero.

loides curvados hacia el interior e interseccionados, y trabados por unos pisos interiores con columnas tiene una alta resistencia. La estructura soportante exterior son los nervios parabólicos situados en las intersecciones de los paraboloides y la misma cáscara del paraboloide, con ventanas triangulares que siguen las directrices de los paraboloides.

Actualmente se está elaborando el proyecto definitivo de las torres centrales. El número de paraboloides es diferente para cada una, doce en la torre central de Jesucristo, ocho en las torres de los evangelistas, y catorce en la torre de la Virgen María, el doble del número de capillas absidiales, siete. Al ser cimborrios más esbeltos que la cúpula de la sacristía (por ejemplo, la torre central tiene aproximadamente el mismo diá-

metro, pero es unos sesenta metros más alta), las directrices se verticalizan y las ventanas son más alargadas. Una vez decididas las alturas de las torres y de cada una de sus partes, se ha estudiado

**“Propone por primera vez en la historia árboles estructurales”**

primero en dibujo virtual y a continuación en maquetas las diferentes opciones formales a partir del modelo original de la sacristía: proporciones de ventanas, dimensiones y forma de las pirámides

invertidas situadas encima de las intersecciones, dimensiones de las aperturas. La ejecución de modelos de yeso (actualmente con mecanización informática) permite valorar las soluciones y acertar mejor en las decisiones. Se están estudiando los materiales definitivos de las torres con la posibilidad de la inclusión de materiales metálicos en las torres de los evangelistas y en los pináculos de todas las torres, siendo de piedra los paraboloides de las torres del ábside y del cimborrio central. También se estudia el sistema constructivo más adecuado en cada caso y la estructura de soporte, teniendo en cuenta las posibilidades de la tecnología constructiva actual.

El procedimiento de trabajo es el que Gaudí planteó para la concreta definición de los elementos. En primer



lugar, investigar su información original, básicamente los modelos de yeso de las partes que proyectó al detalle. De este estudio surgen unas conclusiones que se usan para la construcción del elemento estudiado y para definir otras partes del edificio que Gaudí solamente planteó en dibujos. Durante el proceso se ejecutan modelos virtuales y nuevos modelos de yeso. Se utilizan sistemas de escaneado de modelos y programas paramétricos para el proyecto. Desde las primeras fases, los arquitectos trabajan conjuntamente con los arquitectos responsables del proyecto de estructuras e instalaciones para tener en cuenta desde las primeras fases las solicitudes y cálculos, y con los responsables directos en la oficina técnica de la futura construcción..

## “Descubrir las geometrías del proyecto ha sido un apasionante trabajo”

Cada elemento constructivo se hace realidad con el sistema que se considera adecuado en cada caso. Las piezas de piedra son hechas a mano o con procedimientos de mecanización. Los elementos de hormigón pueden ser prefabricados en taller con o sin la armadura resistente, o bien realizados en la misma obra con encofrados de acero, de madera o de resina de poliéster.

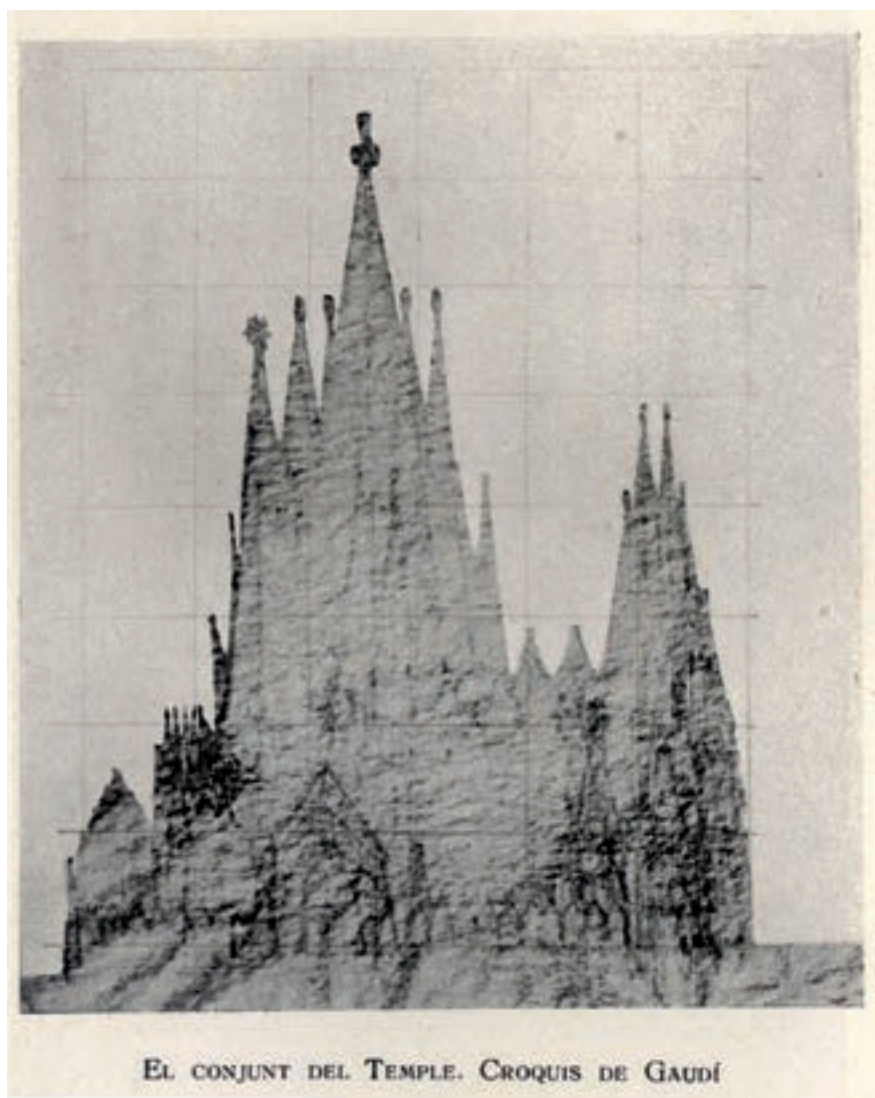


Imagen 26. Croquis de Gaudí del conjunto.

En los últimos años se realizan y se montan encofrados, armados y paramentos de piedra en un extenso solar a setenta kilómetros de Barcelona, que después se desmontan en grandes piezas y se llevan a la obra. En el montaje de las piezas en este taller se resuelven a escala natural muchas cuestiones constructivas de los encofrados y de las armaduras, que no son fáciles de dirimir en el proceso de dibujo o del modelado a escala. *Imagen 24. Ejecución de premontajes de encofrados y armados de los pisos de la Sacristía.*

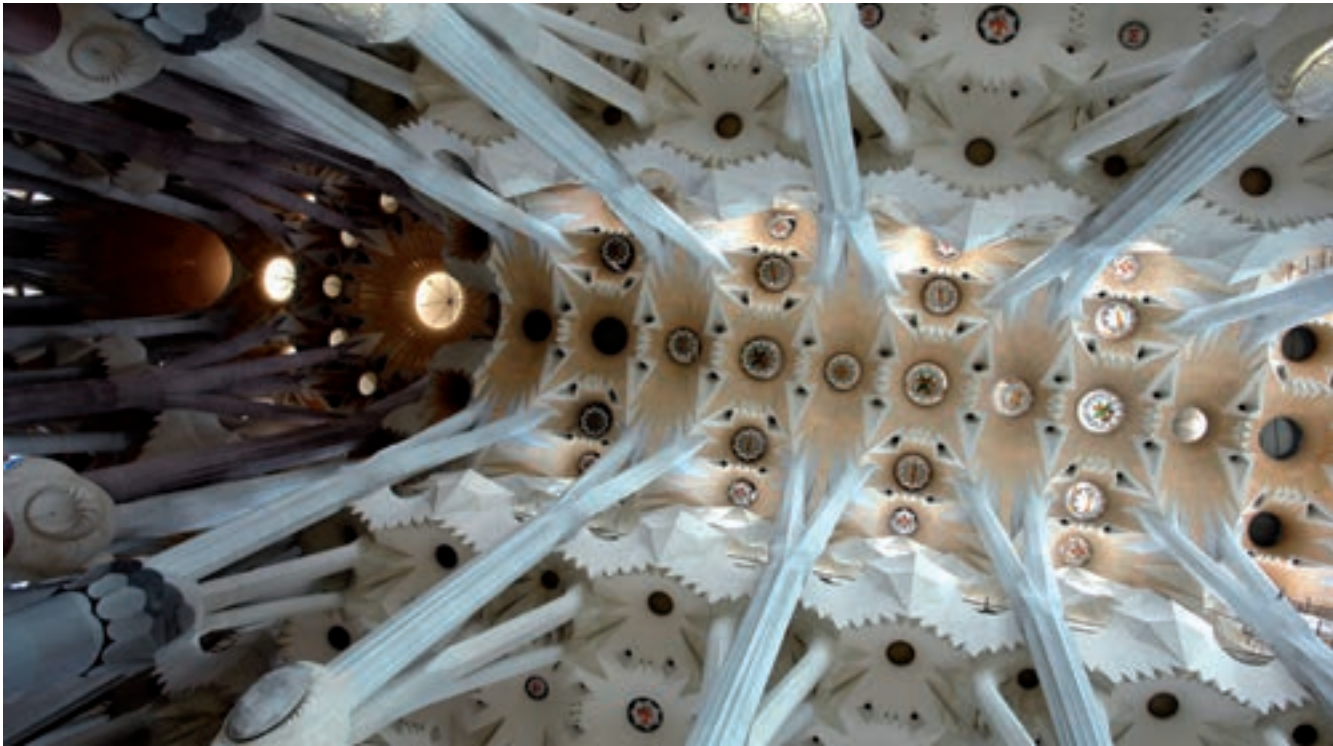
Uno de los principales objetivos que tenía Gaudí en la Sagrada Familia era conseguir la continuación de su construcción en el futuro. Sus decisiones estratégicas fueron fundamentales para este objetivo. Levantar una fachada completa, la fachada del Nacimiento, fue un acierto en distintos aspectos: implicó la sociedad barcelonesa y catalana en el objetivo de su construcción, invitó a la generación siguiente a construir la fachada de la Pasión y dio al edificio una imagen por la cual se conoció en todo el mundo. Proyectando el conjunto en dibujos generales y proyectando al detalle en maquetas de yeso partes significativas con formas geométricas aportó los datos suficientes para la construcción actual del proyecto según sus ideas, ochenta años después de su muerte. Descubrir las leyes de las geometrías del proyecto ha sido un apasionante trabajo de investigación, y proyectar con ellas ha significado un muy interesante proceso de creación. Su construcción ha supuesto desde siempre un reto tecnológico y organizativo, que se ha resuelto con pericia, con la calidad e implicación de los operarios y con el uso de las tecnologías constructivas de cada momento. *Imagen 25. Construcción de las bóvedas del crucero.*

En el año 2010 se acabaron las naves del interior y actualmente se construyen la sacristía (se están acabando los cimientos) y se inician las torres centrales. Personas de todo el mundo la visitan atraídos por las fachadas y naves construidas y con su apoyo personal y donativos hacen posible la continuación de la construcción de la obra magna de Gaudí. *Imagen 26. Croquis de Gaudí del conjunto del Templo.* ■

# Las opiniones contrarias

Nos ha parecido oportuno aportar, como elemento de debate, las críticas adversas a la obra de la Sagrada Familia, por parte de algunos arquitectos, muchos de prestigio, aparecidas en el periódico La Vanguardia el 12 de noviembre del 2010.

No haremos comentarios a ellas, pero acaso cabe pensar si el purismo o el despotismo ilustrado están en consonancia con lo que quiere la sociedad, última usuaria de la obra. (M.B.)



*Bóveda de la nave central.*

## **Jordi Badia**

*Autor de Can Framis*

Estoy convencido de que habría valido la pena dejar el templo como estaba. Arquitectónicamente no tengo dudas: lo que se ha hecho está mal. Los intereses de la ciudad, en atención al turismo, quizá vayan por otro lado. Pero arquitectónicamente lo que se ha hecho ha sido manipular la obra de un genio. Eso está condenado al fracaso. Se ha construido más de lo que dejó Gaudí, y tiene poco que ver con lo que él hacía.

## **Oriol Bohigas**

*Inspirador de la transformación olímpica*

La continuación de la Sagrada Familia es un error. La prueba está a la vista: lo que se ha logrado es un falso Gaudí, totalmente discutible en términos de autoría.

Hubiera sido mejor no comprometer la arquitectura de Gaudí, ahora desvirtuada. Ya dijimos en su día que hubiera sido preferible hallar un gran espacio exterior para reuniones multitudinarias. En la ceremonia del fin de semana se llenó el templo y hubo que cortar calles para colocar sillas y pantallas. En un espacio abierto, la ciudad habría absorbido mejor el flujo de asistentes.

## **Quim Español**

*Ex director de Plans i Projectes de Barcelona*

Ya había visitado la nave central antes de la retransmisión televisiva. Este espacio es imponente, sin duda. Y más lo será la Sagrada Familia en su conjunto cuando se levante la torre de Jesucristo, de 170 metros. Por sus dimensiones, será incluso monstruosa. El proyecto me

hace pensar en La guerra de las galaxias. Hay mucha potencia, es verdad. Pero los acabados interiores, como suele pasar en estas películas espectaculares, tienen cierto contenido kitsch; la formalización del espacio tiene incluso tonos kitsch muy subidos. Continuar o no la obra ya no es una cuestión arquitectónica: se ha convertido en una cuestión social, religiosa o turística.

## **Sílvia Farriol**

*Presidenta de Arquinfad*

No ha valido la pena seguir. Lo que se ha logrado es una desvirtuación total de la idea gaudiniana. El cambio de paradigma constructivo es tan grande como el alarde espacial. Gaudí trabajaba experimentando sobre la marcha. Quería hacer una catedral de piedra. Aquí se ha recurrido



al hormigón revestido. Y los acabados y el pavimento... todo horroroso, epidérmico. Me ratifico: no debiera haberse hecho.

### **Dani Freixes**

*Autor del parque del Clot*

No ha valido la pena continuar las obras. Es verdad que ahora se ha logrado un espacio arquitectónico antes inexistente, porque lo que no tiene techo no lo es. Antes sólo era una ruina. Pero, atención, una ruina con sentimiento propio. Una arquitectura tan personal como la de Gaudí es distinta a la de las catedrales medievales, que podía continuar cualquier arquitecto o constructor con cierta cualificación. En Gaudí todo es expresión personal. Como lo es en un pintor. ¿Nos atreveríamos a terminar el cuadro inacabado de un gran pintor? No, no lo haríamos. Continuar una obra como esta es posible. Pero insuflarle la expresión, la pasión y el talento de Gaudí no es posible. La Sagrada Familia ya no es lo mismo que fue. Su ruina nos podía haber hablado de un genio y de su tiempo. Lo que tenemos ahora no nos habla de un genio ni de su tiempo. Ya hay demasiados parques temáticos en el mundo. Siempre se puede edificar sobre el pasado, pero hay pasados cuyo valor siempre será superior a lo que se construya encima.

### **Beth Galí**

*Autora de la biblioteca Joan Miró*

Visité la Sagrada Familia poco antes que el Papa. Y sigo diciendo que lo hecho no ayuda a comprender a Gaudí. Si los actuales arquitectos del templo hubieran entendido a Gaudí, la obra sería más refinada. Ahora parece robótica, producida por un robot. El tiempo ha corrido a favor de la continuación de las obras: la enormidad y el espacio son elementos impactantes. Pero no tienen nada que ver con la cultura gaudiniana. Gaudí es imposible de reproducir. Una obra de Mies se puede reproducir, milimétricamente. Una de Gaudí, no. Lo que se ha hecho ha sido armar un gran objeto kitsch para atraer a las masas turísticas. Nos hemos inventado un mito.

### **Mónica Gili**

*Editora de GG*

Sólo he visto unas imágenes televisivas, pero sigo pensando que hubiera sido

mejor dejar el templo como Gaudí lo dejó, en plan ruina romántica. Algunos amigos me han dicho que les gustaba. No es mi caso. Prefería el templo como antes.

### **Emiliano López**

*Premio FAD Arquitectura 2008*

No se tendría que haber continuado. Lo mejor habría sido usar la Sagrada Familia como estación central del AVE en Barcelona. El tren pasa por ahí. En esta fase, el edificio parece más un Calatrava que un Gaudí. No tiene sentido. La nave central es espectacular y sorprendente, en especial cuando la vemos en televisión mediante una cámara voladora.

### **Enric Massip**

*Autor de la torre Telefónica ZeroZero*

Era mejor dejar la Sagrada Familia como estaba, pero ahora ya no hay marcha atrás y lo procedente es acabarla. En tal caso, creo imprescindible que quede claro qué parte del templo ideó Gaudí y cuál han desarrollado sus seguidores. Por las imágenes que he visto, a la nave central le falta textura. Es un espacio anabolizado, siliconado, carente de alma. Las soluciones aplicadas me parecen automáticas. Quiero decir que no están pasadas por el filtro de prueba y error, que era el método de trabajo de Gaudí. Estoy convencido de que Gaudí hubiera ido variando sus planes sobre la marcha. Es lo que hizo siempre. Las soluciones aplicadas ahora me parecen forzadas, incluso técnicamente, con el objetivo de acabar pareciéndose a lo poco de lo que se disponía: las fotos de una maqueta. El hecho, además, de que algunas soluciones constructivas necesitan hormigón armado ya indica que algo falla. La idea de Gaudí era trabajar por compresión: quería levantar la última catedral de piedra. Es cierto que Gaudí ya usó hormigón en su día, pero lo hizo en lo alto de las torres, donde el hormigón era como una piedra ligera. Ahora es al revés: está en la base de las columnas, cuyo macizo muscula. La imagen final resultante es una imagen congelada, fantasmagórica.

### **Josep Lluís Mateo**

*Director del Barcelona Institute of Architecture*

Se ha logrado un espacio grande, espectacular. Pero no me atrevo a decir que el

esfuerzo haya valido la pena. Me parece un gran decorado de película. La retransmisión televisiva le daba ese toque cinematográfico, de irrealidad. Quiero decir que un espacio como el de la catedral de Palma, en el que también intervino Gaudí, me parece real, mientras que el de la Sagrada Familia me parece más de cartón piedra.

### **Ignacio Paricio**

*Catedrático de Construcción de la ETSAB*

Lo que se ha acabado ahora es horroroso. Los rosetones de las claves son de una vulgaridad increíble. El maravilloso equilibrio entre técnica y composición que lograba Gaudí no asoma por las patochadas que se han hecho ahora. Yo hubiera sido partidario de dejar la Sagrada Familia como la dejó Gaudí; a lo sumo, se podría haber hecho algún elemento complementario. Para alcanzar este resultado no valía la pena seguir.

### **Robert Terradas**

*Director ETS Arquitectura La Salle*

Hubiera preferido dejar la Sagrada Familia como estaba. Era realmente difícil saber cómo Gaudí hubieran continuado el templo. Y, tras su muerte, es imposible. Lo que él hizo está muy bien. Lo que se ha hecho ahora revela un esfuerzo constructivo real, sí, y resulta tremendamente efectivo en lo referente a promoción, a propaganda. Pero en la obra yo no sé ver el espíritu de Gaudí. Y aun suponiendo que la arquitectura tuviera un pase, la estatuaría es definitivamente ridícula. El conjunto es un pastel. Un pastel que gustará a otros, pero no a mí.

### **Elías Torres**

*Autor de la reforma del Park Güell*

Creo que Jujol era el heredero natural y capaz de continuar el templo. Podría haberle añadido esa capacidad que tenía de transformar lo escaso y lo pobre en algo sutil y sublime. Hubiera contaminado las obras de soluciones inesperadas, extrañas y, casi seguro, emocionantes. Sus chispas creativas las habrían mejorado, iluminado o incluso chamuscado. Esto, a veces, puede provocar desconfianza y miedo. ■

# Sobre los ingenieros europeos de puentes de la generación de 1930-1960

JUAN JOSÉ ARENAS

CATEDRÁTICO DE PUENTES. PRESIDENTE DE ARENAS ASOCIADOS, INGENIERÍA DE DISEÑO.



El pabellón de Nervi.

Comentar sobre la evolución de la ingeniería del Plan Antiguo puede ser más que adecuado en un artículo para la revista *Diseño en Ingeniería*. Y ello, tras leer el artículo de Javier Manterola sobre las construcciones de los ingenieros recientes, entre otros Robert Maillart y Pier Luigi Nervi. Manterola piensa en voz alta su impresión global de que, tanto uno como otro, se han caracterizado por dejar obras tan bellas y encajadas en su paisaje como atrevidas desde el punto de vista estructural. Gracias a las cuales su prestigio entre los ingenieros ha sido alto desde el momento de su construcción hasta el día de hoy. Manterola se plantea honradamente la pregunta de si Maillart y Nervi sabían mucho, o si sabían más bien poco. En su artículo, afirma que, probablemente, sabían poco. Y aunque no especifique demasiado, creo que se

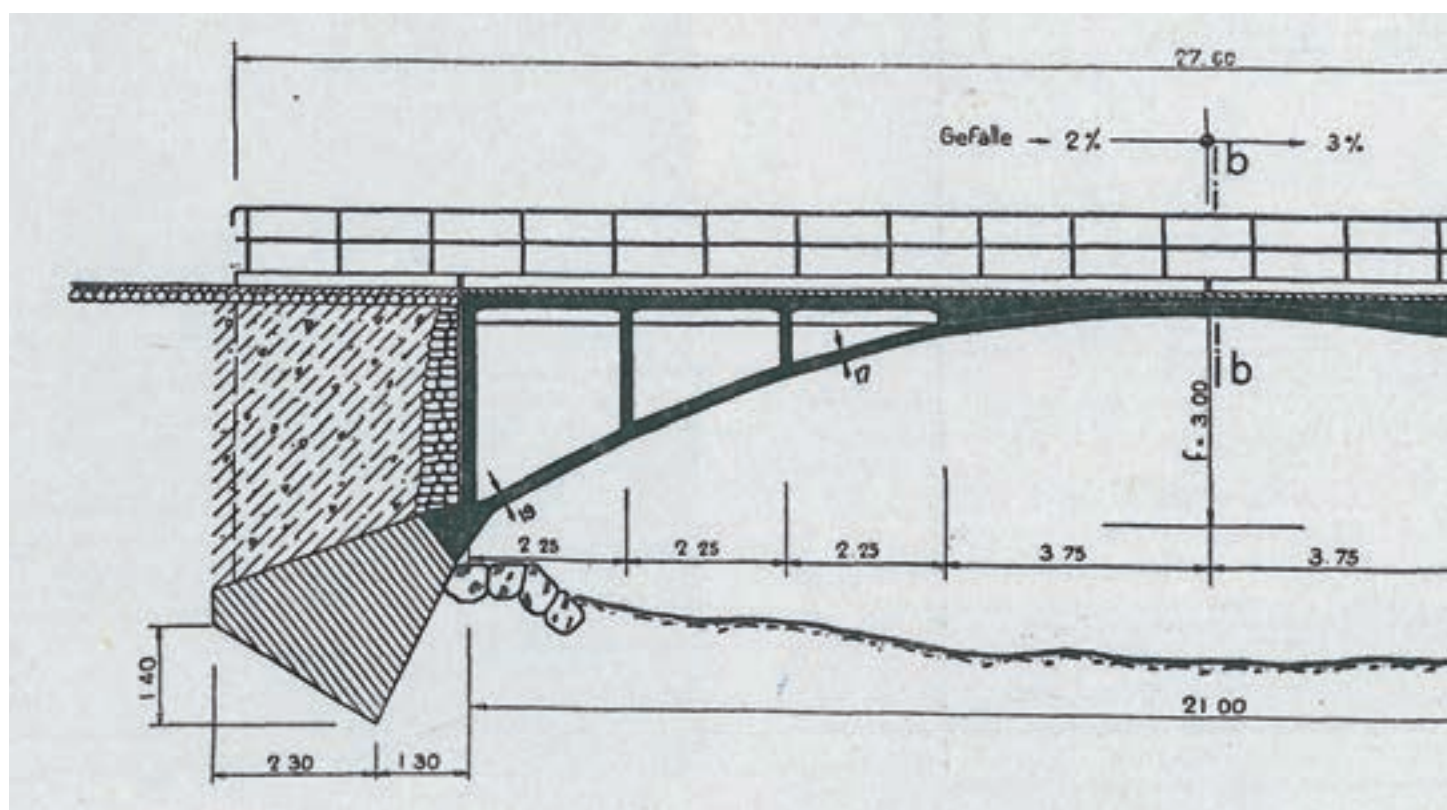
está refiriendo a los aspectos que, como ingenieros, nos han parecido siempre más importantes. O sea, al cálculo estructural y al comportamiento de los materiales. Lo propio del Ingeniero era y, para mucha gente, sigue siendo hoy calcular.

Hacia 1890 las fábricas de cemento Portland se expandían y pedían ensayos de laboratorios oficiales que dieran base al cálculo de formas y dimensiones de la estructura, lo que permitía su análisis, y el cálculo de sus esfuerzos internos y las reacciones e apoyo, todo ello para comprobar que las secciones que son críticas para la puesta fuera de servicio de la estructura del edificio, guardan todavía un margen suficiente de capacidad portante, lo que denominamos coeficiente de seguridad de la construcción. La linealidad de la respuesta de la estructura frente a sollicitaciones normales se da por conseguida bajo la advocación del principio básico

de que: “Las secciones que son planas antes de la deformación continúan siendo planas después de la deformación” La vigencia de ese planteamiento permitió extenderlo al caso de secciones fisuradas, como pudo comprobarse en diferentes pruebas de laboratorio. En cualquier caso, la planeidad de las secciones de hormigón, en estado no fisurado, permite hablar de inercia, lo que supone una clara ventaja a la hora de computar las tensiones normales, por efecto, de un lado, de los esfuerzos internos ( $N$ ,  $M_x$ ,  $M_y$ ,  $M_t$ ,  $Q_y$ ,  $Q_x$ ) y, por otro, las magnitudes resistentes del diseño en esta fase, que es un dato que da la medida de la capacidad de aguante de la sección, compuesta por otros 6 parámetros: Área, Inercia principal, Inercia lateral, Rigidez torsional y Áreas de Cortante en ambas direcciones.

Y todo ello, referido a un hormigón de una determinada resistencia.





*El puente de Maillart.*

Plantear un modelo válido para representar la resistencia y la fisuración debidas al cortante, en tramos de hormigón con alma más bien delgada, debió resultar más complicado. Recuerdo unas fotos del equipo de Mörsch en Munich, que pude contemplar en alguna publicación componiendo piezas cortas y armadura variable que, imagino, serían llevadas hasta rotura.

Hacia 1900, el triángulo formado por las ciudades de Viena, Zurich y Munich compone un triple foco de investigación que busca conocer la respuesta de una pieza cualquiera de hormigón armado ante una sollicitación de flexocompresión. Los ingenieros que alimentan esa búsqueda son principalmente Ritter, Culman y Mörsch. Por ejemplo, Mörsch inicia hacia 1903, en Munich, un conjunto de ensayos de diferentes piezas de hormigón armado, con el intento de comprobar su funcionamiento. Planteando así un primer reglamento que acota todos los límites de la estructura, y que estaría en vigor hasta presentar el siguiente nuevo reglamento a los ingenieros alemanes.

La famosa triangulación de Ritter-Mörsch sigue siendo hoy día la mejor referencia para comprobar la capacidad

de un alma frente a esfuerzo cortante. Y para calcular la armadura que, en forma de cercos transversales, complementa al hormigón del alma.

No hay que olvidar que en las estructuras realmente trianguladas tienen todo que ver con la aplicación de métodos sencillos como

**“Lo propio del Ingeniero era y, para mucha gente, sigue siendo hoy calcular”**

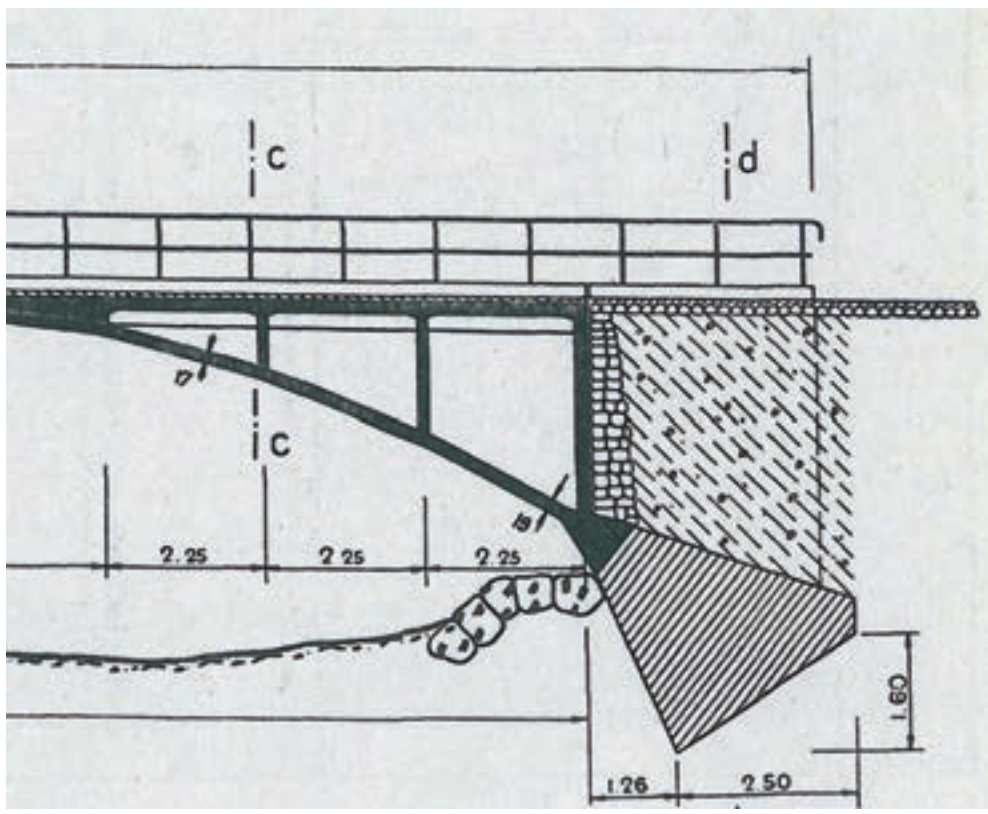
Cremona y Williot. O sea, gráficos o numéricos, todos los caminos llevan a Roma. El éxito de ese método se basaba en resolver con dibujos de líneas rectas la fuerza de reacción que se produce en cada nudo.

El éxito de Ritter y su estática gráfica tuvo mucho que ver con planteamientos fáciles de ejecutar, como eran los diagramas de Cremona, o los polígonos antifuniculares, que permitían dar la traza del arco a los

canteros. O bien, daba las ordenadas del intradós de la bóveda o arco cuya masa se decide abandonar para acercarse a un mejor aprovechamiento del material hormigón.

En cualquier caso el Caballero Ritter nos vuelve a aparecer como profesor de puentes en la ETH de Zurich con un grupo de alumnos entre los que destacan Maillart y Amman, ambos célebres y valerosos constructores de puentes. Uno, Maillart, fue capaz de cimbrar y hormigonar huecos de más de 100 metros de luz. Amman emigró en cuanto pudo a EEUU, donde entró con el sueño de poder levantar algún día un puente colgante tan impresionante como el George Washington que, finalmente, construyó. Que, de paso, guarda un esquema estático, invertido, del todo similar a los arcos laminares de Maillart.

Porque Maillart fue en Zurich también alumno distinguido de Ritter. Parece que éste preparaba para las clases maquetas sencillas y una sobre la que estudiaron los métodos gráficos era la de un puente de vano único, con arco laminar bajo el tablero. No cabe duda que la serie de puentes que ha dejado Maillart en Suiza proviene de ideas discutidas ampliamente con Ritter. Entonces, y volviendo a la pregunta inicial



sobre si su nivel técnico-matemático era o no era muy alto, cabe pensar que probablemente el nivel de Maillart fue el del curso de estática gráfica que había recibido de Ritter. De entre todos los documentos que conozco de Maillart sólo recuerdo la “nota de cálculo” de un puente arco triarticulado, clásico que ocupa dos hojas y se limita a la obtención del antifunicular de las cargas permanentes del puente terminado.

De todos modos, me da la impresión de que nuestra opinión no debería importarle mucho, por cuanto sus puentes son espléndidos y su procedimiento constructivo está siempre resuelto con maestría. Es cierto que, fallecido en 1940, no llegó a sentir la inquietud de precomprimir el hormigón. Algo que tanto los ingenieros alemanes como los franceses se afanaban por poner a punto en los años de la Segunda Guerra y que, en frase de Freyssinet, iba a suponer una “revolución en el arte de construir”.

Pier Luigi Nervi parece menos “ingeniero” que el resto de colegas a los que Manterola dedica su artículo: Torroja, Freyssinet, Fernández Casado, Maillart y Candela. Quiero decir, menos ingeniero y más arquitecto. En puentes tiene el viaducto urbano del Corso Francia, en Roma, tramos

rectos sucesivos con una luz de unos 20 a 25 metros y pilas bastante altas. Técnicamente, nada del otro jueves. Porque, además, las vigas prefabricadas son, equivocadamente, de hormigón armado. Desde luego, tiene que ser triste asistir al festín de las luces de puente que se estiran de modo implacable,

**“la pregunta de si Maillart y Nervi sabían mucho, o si sabían más bien poco”**

alcanzando valores inimaginables gracias a la precompresión o presolicitación de los tableros de puente, sin participar en él.

Pero, en cambio, las formas regladas de esas pilas del Corso Francia y numerosos detalles de sus obras, han sido para mí, probablemente, la fuente de inspiración que me ha llevado en muchas ocasiones a dedicar tiempo a pilas y estribos de puente cuyo aspecto uno desea mejorar. Formas

que necesitan geometría exigente, como la precisa la fabricación de pilas rectangulares de sección constante. Cierto que los encofrados se complican un tanto, y su despiece en el Proyecto es ineludible, pero el balance final suele acusar con toda probabilidad términos positivos.

Por tanto, que los proyectos de Nervi se aproximen sistemáticamente a la arquitectura no nos debe extrañar. El hermano de Nervi, Antonio, era arquitecto, y en comandita, la constructora Nervi (que se denomina constructora de Hormigón Armado) debía ser la que marcaba los límites comerciales. El “ferrocemento”, patente básica de Nervi, les permitía utilizar los conceptos de Prefabricación, empleo de las prelosas planas o cocas curvas base como encofrados para rellenarlos de hormigón in situ, y manteniendo la superficies laterales e inferiores de cada placa, o triángulo como caras vistas de una obra bien realizada. La falta de interés de Nervi por el concepto de pretensar una estructura creando en ella una ley de esfuerzos del signo contrario a los debidos a las cargas permanentes, lo que conduce a nueva reducción de esfuerzos y lo que permite disminuir cantos y almas de las vigas. De tal modo que el nuevo material permite luces muy superiores a los 25 metros que venía siendo el límite de los tramos rectos de hormigón armado.

Tal desinterés por una técnica revolucionaria llama la atención. Y no se entiende más que por cuestiones de tipo personal.

Con todo, Nervi se preguntaba: ¿Hay diferencias entre la Arquitectura y la Ingeniería estructural?. Aquí parece que está sosteniendo la difícil opinión, que yo no comparto al 100 por 100, pero entiendo que un proyectista de la talla de Nervi se atreva a expresarse con tanta rotundidad. Cuando además, haya afirmado varias veces que en la realidad no hay más que un tipo de técnico solvente que es el que construye bien. Y en construir bien, con verdadera economía y calidad en todos los detalles, Nervi es un Maestro. Para el académico francés Jean Cocteau, la actitud básica de Nervi se resumía en: “Encontrar primero, buscar después”.

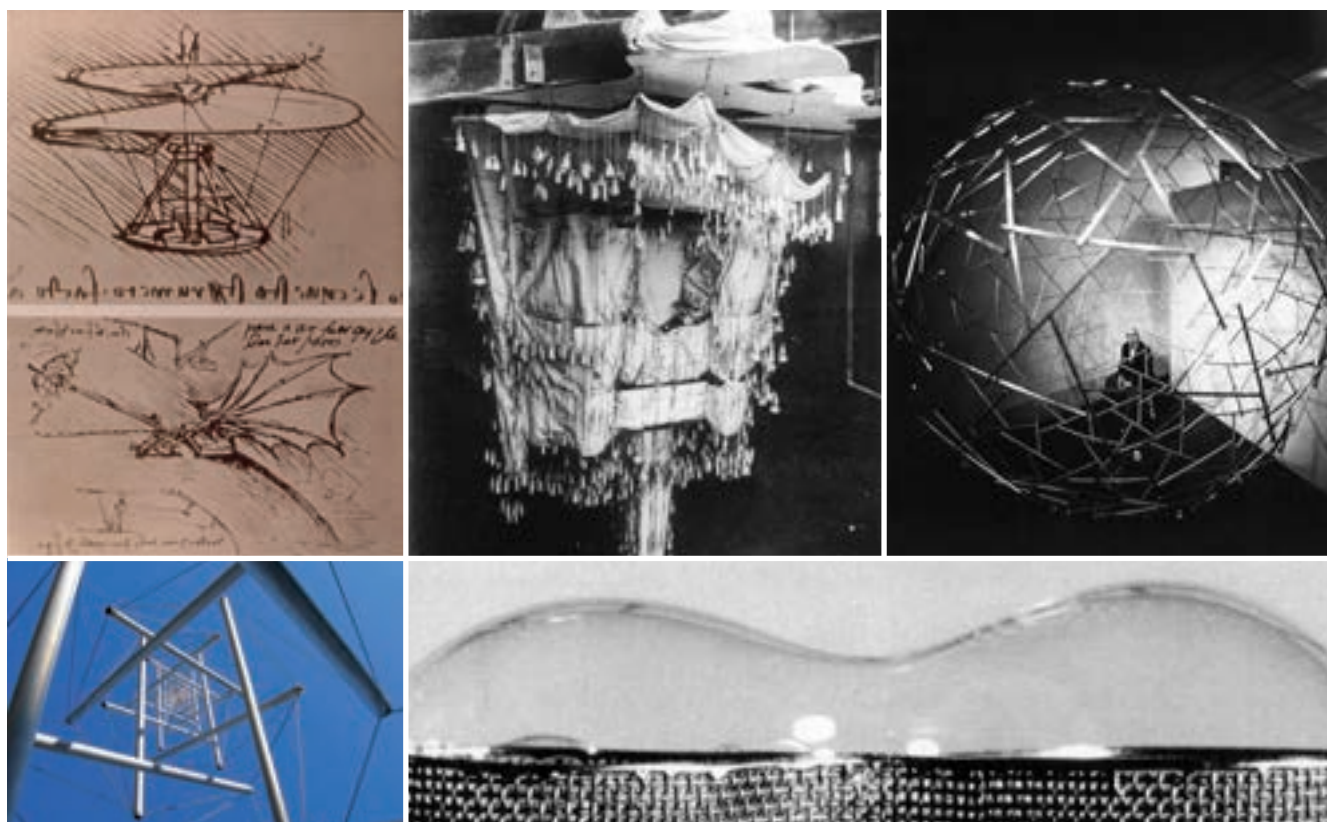
Para Nervi, buscar es algo que hay que hacer tras haber encontrado. Algo así como hallar la idea base y, después trabajar su perfeccionamiento constructivo. Por eso Nervi ha sido en mi opinión un gran maestro. ■



# Juegos de construcción

JORGE BERNABEU (CON LA AYUDA DE IRIS, ÁNGEL Y LUCAS)

DR. INGENIERO DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS, PROFESOR TITULAR INTERINO, ETSI CAMINOS, CANALES Y PUERTOS, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID, DIRECTOR DE PROYECTOS DE IDOM.



*Los artilugios de Leonardo, los modelos de Galileo, las máquinas de Juanelo Turriano, la búsqueda formal de funiculares de Gaudí con lonas colgantes y sacos de perdigones para simular pesos concentrados, los modelos tridimensionales de Le Ricolais y su laboratorio de la Universidad de Pennsylvania, los poliedros y cúpulas geodésicas de "Bucky" Fuller, las esculturas tensegrity de Keneth Snelson, los más recientes ensayos de optimización de Heinz Isler o la búsqueda formal con pompas de jabón de Edmund Happold, tienen todos ellos una aproximación lúdica, experimental, tentativa, mucho más próxima a libertad del juego que a la rigidez de la norma.*

**C**onstruir es jugar a ser un dios. Se busca transformar lo existente con una intención positiva de mejora. Hacer el mundo más habitable, unir lugares, superar obstáculos, regular lo contingente, llegar más lejos, llegar más alto. Construir es más exigente que destruir. Implica un propósito y un proceso para los cuales que se precisa, no solo planificación y medios, sino también el ingenio y la tenacidad suficientes para superar los problemas que inevitablemente se presentan en su desarrollo.

Pero vamos a centrarnos en los juegos de construcción, en la presencia, la capacidad lúdica y formativa de la obra civil

en nuestra infancia, en nuestro proceso de aprendizaje, así como el potencial que supone para nuestra profesión. Para ello, este artículo se desarrolla también como un juego. El discurso se plantea principalmente a través de ilustraciones comentadas que construyen una visión poliédrica, pero unitaria, de la potente carga de significado que supone jugar a construir.

El uso de modelos experimentales para la investigación, la concepción y la ejecución está presente en toda la historia de la construcción. En muchos casos, incluso se recurre a la prueba de parte o de la totalidad de una obra para confirmar su estabilidad y resistencia,

afinar su dimensionamiento u optimizar su proceso constructivo. De hecho, a falta de una teoría de estructuras que fundamente el cálculo, el progreso de construcciones tan relevantes en la historia como los puentes arco de piedra o las catedrales góticas se fundamenta en la transmisión de los aciertos y errores de construcciones anteriores. Qué mejor modelo que el juego de construir a escala real para el ensayo y adecuación de las obras siguientes.

Muchos de los grandes ingenieros, visionarios y constructores de la historia han utilizado artilugios y dispositivos experimentales para comprender y ensa-

yar sus propuestas; modelos que son más próximos a la libertad creativa del juego que a la rigidez de la teoría y de la norma.

Desde nuestra temprana infancia jugamos a levantar torres y a tirarlas después, para nuevamente volver a erigirlas. El proceso es lo divertido, el juego dura mientras dura la construcción.

Existen infinidad de juegos de construcción, de patentes y marcas comerciales, que forman parte de nuestra identidad cultural. Meccano, Lego, Tente, bloques de madera, cubos de plásticos, vías de tren (electrificadas y de tracción manual), Scalextric, carreteras, aeropuertos, terminales de transporte, caminos que recorrer (por fichas movidas por el azar de los dados o itinerarios que recorren pelotas o canicas).

Después del primer montaje, siguiendo las instrucciones para construir la misma pieza de la imagen de la caja, empieza el verdadero placer del juego: saltarse las reglas, mezclar las piezas, probar nuevas combinaciones, ensayar todo tipo de posibilidades, crear construcciones únicas que no tienen otro modelo que el de nuestro propio entusiasmo creativo.

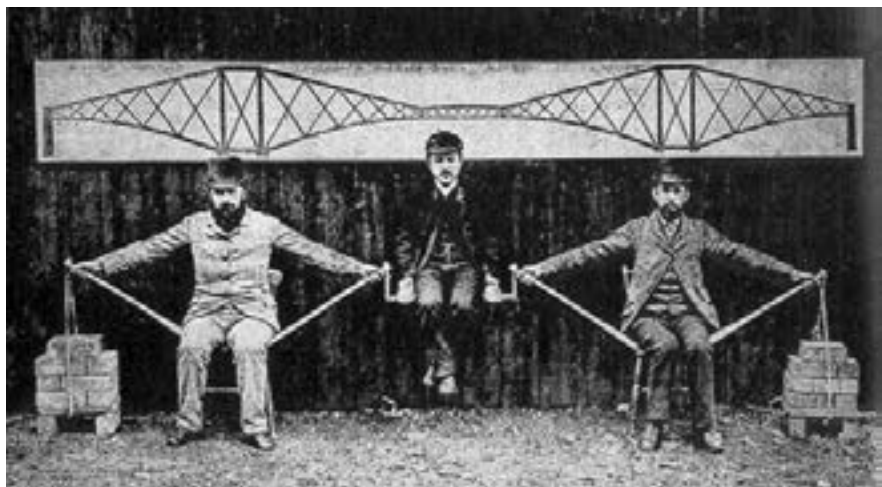
La fascinación de construir puentes que salvan obstáculos muchas veces ridículos, la necesidad de levantar murallas y entornos protegidos del mundo exterior, las posibilidades infinitas de construcción que ofrece una caja de cartón, los experimentos hidráulicos de la bañera: flotación de objetos, fondeo de cajones flotantes mediante llenado, capacidad energética del vertido del agua (salpicar, hacer olas) y el desastre que supone su rebase y vertido (que se manifiesta con una reprimenda segura del progenitor). Todo se transforma en juego, todo se convierte en construcción, en experimentación del mundo para hacerlo propio.

Pero los juegos de construcción deben aún superar muchos estereotipos. Construir no es cosa de chicos. Queda mucho camino que recorrer. En los propios juegos infantiles, tan explícita y absurdamente divididos en géneros, en la propia sociedad y en la realidad de nuestra profesión. (<http://clubsagasta.blogspot.com.es/2012/02/cuestiones-de-genero.html>).

En la formación se recurre también al juego de construcción, desde las edades más tempranas, en la educación secundaria y también en la formación



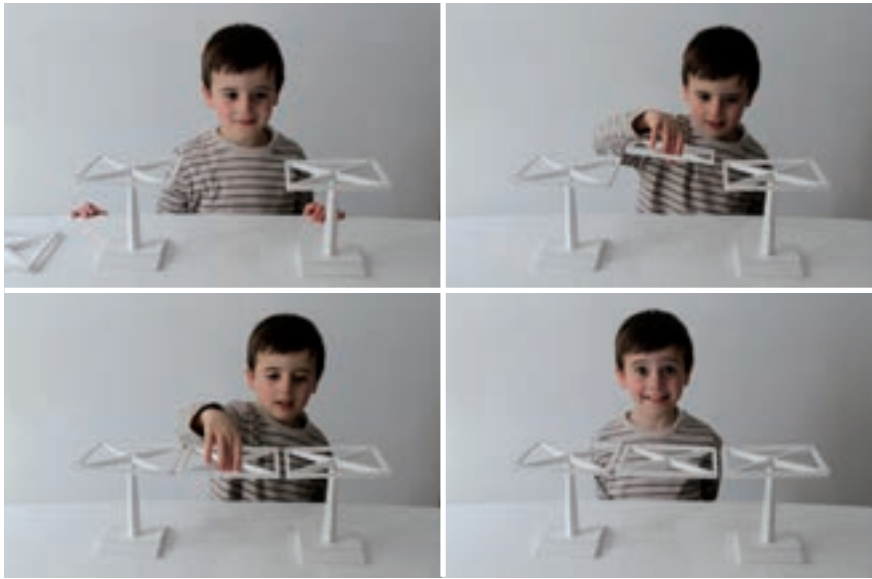
*Jugar a construir: la edad no importa, todo material vale, cualquier momento y lugar es bueno, tú pones las reglas.*



*La fotografía del modelo humano del Firth of Forth, es un icono que, a modo de sencillo juego experimental, explica visualmente, mejor que ningún otro medio el esquema resistente del puente: un pequeño tramo central isostático, apoyado en los extremos de dos potentísimos voladizos simétricos. La persona sentada el centro, es el ligero ingeniero de origen japonés Kaichi Watanabe, asistente de los autores Sir John Fowler and Sir Benjamin Baker.*

*En clase de Arte de la Escuela de Caminos de la UPM, recreamos ese modelo mítico con los alumnos, sustituyendo los gorros de la época por cascos actuales. Protagonistas y testigos pasamos un buen rato; en la foto actual se sonríe más que entonces.*





La secuencia fotográfica de Ángel jugando con las piezas de un modelo, muestra la concepción estructural y constructiva de los módulos metálicos de la Estación Valencia Joaquín Sorolla.



En las imágenes de la época una figura paterna o maestro masculino guía a unos dispuestos chicos o jóvenes aprendices de ingeniero. Desgraciadamente esta evidente diferenciación machista sigue presente en la actualidad, tanto en los juegos infantiles, como en la actividad profesional del sector.



La torre Eiffel construida con piezas de Meccano, Museu del Juguuet de Catalunya en Figueres.



The Erector Set, patente de 1911, permitía construir puentes de dimensiones considerables.

universitaria, como medio idóneo para aunar el trabajo manual y la posibilidad de desarrollar nuevas estrategias de pensamiento. Está demostrado que el uso de las manos implica el contacto con la realidad y activa partes del cerebro que permanecen inactivas con el pensamiento abstracto intelectual o mediante el uso del ordenador. Jugar a construir abre la mente y estimula la creatividad.

Hace varios cursos que en la asignatura de Arte de la Escuela de Caminos de la Universidad Politécnica de Madrid planteamos la realización de trabajos por equipos que exigen la construcción manual de lo que denominamos un “Artefacto” (Bernabeu, J., Berrocal, A., Aguiló, M.; 2012. “The construction of Artefacts, physical hand made devices, as an educational method in civil engineering”, INTED 2012: 6th International Technology, Education and Development Conference). Por “Artefacto” entendemos más un “cacharro” que una maqueta. La maqueta es una reproducción estática a escala, en cuya construcción se puede atinar con mejor o peor virtuosismo y alcanzar menor o mayor nivel de detalle. En contraste, lo que se busca con estos trabajos es que sean dispositivos operables que muestren algún aspecto del funcionamiento, la tecnología, la tipología, el esquema resistente o el proceso constructivo de las obras propias de ingeniería civil: puentes, presas, carreteras, puertos, diques, ferrocarriles, estructuras resistentes, conducciones hidráulicas, entre otras. Los “Artefactos” no son modelos estáticos para su observación, son mecanismos de aprendizaje, artilugios que se montan (y a veces se desmontan), que “enseñan su tripas”, que ayudan a entender su función. En ellos importa más el concepto que el acabado, lo que no quiere decir que el detalle no sea importante, la elección de un determinado material o la solución particular de una unión puede ser decisiva en la configuración del artefacto.

Los “Artefactos” se deben construir con las manos, implican un manejo manual de los materiales. Los alumnos deben emplear sierras, clavos, tornillos, soldaduras eléctricas, motores, lijas, rótulas, tornillos, pegamento. Es el primer contacto real con un material constructivo en su carrera

universitaria. El trabajo manual activa nuevos resortes en la consciencia, que se abre a percepciones hasta entonces poco empleadas por los alumnos en su desarrollo académico: el tacto, la motricidad fina, la destreza manual, el propio discurrir del tiempo, el proceso de construcción. Factores todos ellos que contribuyen a un desarrollo de las aptitudes y un estímulo de la creatividad. Y del ingenio.

Nos lamentamos en la profesión porque echamos en falta una presencia más notoria en la sociedad, en lugar de reconocer y potenciar nuestros valores. Quizás aspiramos erróneamente a emular el protagonismo mediático de algunas *celebrities* de otras disciplinas. Estoy convencido de que es más fructífero potenciar los valores que nos son propios y que contribuyen, muy

posiblemente con mayor relevancia, a la construcción de la sociedad.

Tenemos en los juegos de construcción, en la formación de la personalidad de cada uno de nosotros, un elemento de gran potencia que destacar, valorar y cuidar. Desde nuestra infancia, todos tenemos un ingeniero civil que quiere seguir construyendo el mundo para hacerlo más habitable. Que siga el juego. ■



Piezas de Lego de color rosa concebidas para niñas constructoras. Consumo de estereotipos.



Un fanático de Lego construye una casa de dos pisos y 816 millones de piezas Lego. (<http://www.archdaily.com/33604/toy-fanatic-builds-a-house-from-lego>).



Composición núm. 5. Instalación temporal sobre alfombra. Materiales: torres de cubos, coches de juguete, objets trouvés, instrumentos musicales, clicks, llaveros, gogos, gorros de disfraz, puzles, otros juguetes y cubo de Rubik. Lucas Bernabeu, febrero de 2010.



Cartel presentado al concurso del V Congreso Internacional de Estructuras de la Asociación Científico-técnica del Hormigón Estructural. Un juego de construcción con piezas de madera. No hubo suerte, el cartel no fue premiado.

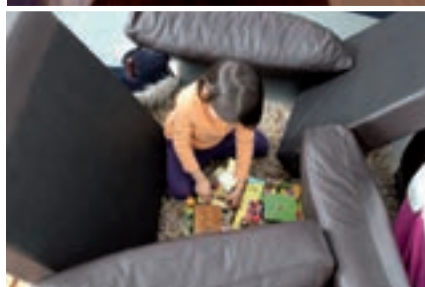


Un apasionante juego de construcción espacial de caminos con túneles y tramos invisibles para ser recorridos por canicas. El juego lo descubrimos en casa de la familia de ingenieros de caminos Arroyo-Chaves, cuatro hijos; la pequeña Nora también participa. La composición de la imagen fue realizada por un equipo de siete niños.





Montaje de una mesa de Ikea. Constrúyela tú mismo. Sigue las instrucciones y la secuencia de montaje propuesta. Frente a una construcción seriada y predecible: *IKEA DISOBEDIENTS* by Andrés Jaque. "Las familias Ikea: son jóvenes, rubias, saludables, pijas, heterosexuales y productoras de bebés y viven en una permanente mañana de sábado soleada y feliz. Pero todo proyecto-de-felicidad produce también descontentos. No todo el mundo es sano. No todo el mundo es joven. No todo el mundo es heterosexual. No todo el mundo es productor de bebés. Siempre hay una posibilidad de desobedecer." (<http://oficinadeinnovacionpolitica.blogspot.com.es/2011/10/ikea-disobedients-los-que-desobedecemos.html>).



Dentro de casa, los niños buscan construir propio su espacio. Un refugio dentro del hogar, una casa dentro casa. Fabricar una cabaña, un espacio protegido: debajo de la mesa, flanqueados por muros de sillas y pavimentados con toallas; rodeados de cojines, una muralla defensiva de la intimidad, un lugar resguardado donde jugar a salvo.

La caja es una unidad constructiva mágica, capaz de transformarse en cualquier objeto y de asumir cualquier función en la imaginación infantil (Esto no es una caja, Antoinette Portis. *Faktoria de libros*, 2008) y es también una abstracción idónea para representar la necesidad de contenido que exige la construcción de una identidad propia en el proceso de afirmación del adulto (*Soy una Caja*, Natalia Carrero. *Caballo de Troya*, 2008).

El laberinto, un camino complejo para confundir a quien se adentre en él; el juego simbólico que nos conduce a nuestro destino.



*Los caminos del juego. La rayuela, el juego de la oca, el parchís y otros miles de juegos, en algunos de los cuales los jugadores proyectan su propio itinerario, aúnan habilidad y azar. Siempre recorriendo caminos, siempre con la emoción de alcanzar la meta, de llegar el primero, de completar el itinerario y, por supuesto, de volver a empezar de nuevo. Comenzar un nuevo juego.*



*Otro destino inevitable: el de ver caer las piezas de dominó una tras otra siguiendo la traza que hemos construido; y la satisfacción de comprobar la idoneidad del montaje, que ninguna ficha quede en pie, que el recorrido se complete.*



*Dos únicas piezas, curva y recta, para infinitas combinaciones de trazado. Lo atractivo de los juegos de tren es montar la vías. Usar las mismas piezas una y otra vez para construir esquemas diferentes, el siguiente mejor que el anterior. Improvisando disposiciones, inventando recorridos, evitando obstáculos. ¿Hay algo más divertido que hacer al despertar?*



*Trazar caminos. Coger un coche y descubrir el fascinante territorio del hogar trazando itinerarios inéditos: de la alfombra al sofá y de allí a la pared, recorriendo el pasillo hasta alcanzar el baño donde aparecen tramos de fuertes pendientes en la bañera y el lavabo. Para descubrir un territorio ignoto, para hacerlo propio, la mejor manera es trazar caminos que recorrer.*



*Todo el mundo sabe que montar el Scalextric es mucho más apasionante que jugar con él.*



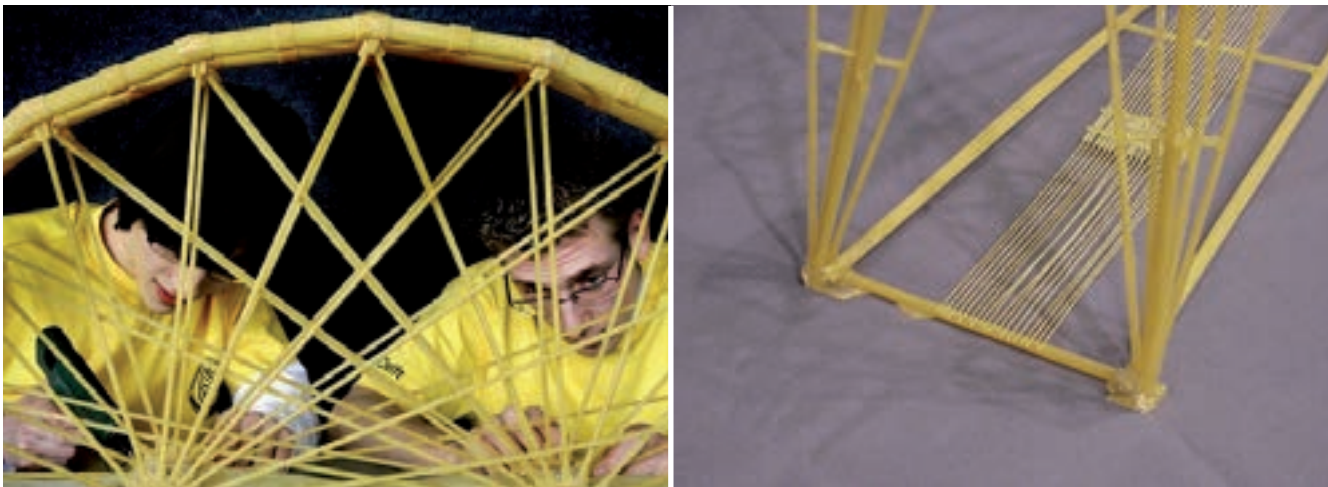


*La playa es un paraíso para los juegos de construcción. Castillos de arena con sus fosos, túneles con ataque desde sus dos frentes, canales para conducir el agua del mar, depósitos llenados ininterrumpidamente mediante cubos, puertos al abrigo de las olas. Una vez más el juego es el proceso de construcción. Terminada la obra, el juego pierde su interés, queda para secarse al sol como una ruina en la arena, para ser arrastrada por las olas o, mejor aún, destruida a pisotones por sus propios constructores.*



*Colegio: el rincón de las construcciones. Niñas y niños comparten infinitas posibilidades de montaje, sin instrucciones, a partir de piezas de colores que encajan con facilidad. Entretenimiento y formación espacial, motriz y creativa. Imágenes tomadas en el colegio público Rufino Blanco, Madrid.*





*Instituto: competiciones de construcción. La educación anglosajona parece más práctica y a la vez más competitiva que la nuestra. Les da por hacer concursos de lo que sea. Con eso resulta que los alumnos se esfuerzan, se documentan, se motivan, toman decisiones, trabajan en equipo y todo eso que parece imposible que haga un adolescente. Un concurso de lo más extendido es el de hacer puentes de espaguetis. ¡Sí, sí, de espaguetis!*



*Universidad: la experiencia de los "Artefactos". En la asignatura de Arte de la Escuela de Caminos de la UPM hace varios años que planteamos trabajos que exigen el empleo de las manos. El trabajo, que denominamos "Artefacto", no es una maqueta, es un dispositivo operable que muestra la lógica de concepción, construcción o funcionamiento de una obra civil. Cada equipo expone en clase su propuesta y realiza un video del proceso que se sube a una playlist con todos los trabajos en YouTube. (Bernabeu, J., Berrocal, A., Aguiló, M.; 2012. "The construction of Artefacts, physical hand made devices, as an educational method in civil engineering", INTED 2012: 6th International Technology, Education and Development Conference).*



# A modo de elegía de las obras hidráulicas,... y al hilo, otras cosas varias.

FRANCISCO BUENO HERNÁNDEZ  
DR. INGENIERO DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS. UNIVERSIDAD DE BURGOS.

PRIMERA PARTE

Francisco Bueno nos ha remitido un magnífico artículo sobre la estética de las obras hidráulicas. La amplitud de otros temas como el de la Sagrada Familia de Gaudí, nos ha impedido reproducirlo en toda su extensión, por lo que su segunda parte verá a la luz en el N°5 de esta revista. No obstante queremos destacar el primer capítulo "a modo de introducción" un texto que nos parece fundamental y que tendría que estar presente en el pensamiento de los actores de la ingeniería de las obras públicas. Déle el amigo lector la importancia que merece. M.B.

## A modo de introducción

**N**o es habitual leer u oír hablar de las obras hidráulicas en un sentido que no sea estrictamente técnico o funcional. O ambiental. Los aspectos estéticos, paisajísticos, territoriales, históricos, patrimoniales, artísticos o culturales de estas obras de ingeniería no son desde luego habituales no ya en la literatura estrictamente técnica sino ni siquiera en la literatura de carácter más amplia que utilizamos los ingenieros.

Tampoco se habla de ellas en otros ámbitos, ni escritos ni hablados, que interesan, o deberían interesar, a sectores más amplios de la sociedad y a los que los ingenieros parece que tenemos alergia sistémica. En alguna ocasión, quizás con demasiada frecuencia, se argumenta que no hace falta escribir de estas cuestiones, ni siquiera de las técnicas o funcionales, que las obras bien pensadas y ejecutadas técnicamente, las hechas con rigor, quedan a disposición de la sociedad y que ésta ya las apreciará. Puede que en algún momento esto fuese suficiente, pero desde luego no lo es en la actualidad.

No se trata de entrar en la actual "civilización del espectáculo" con la consecuente falta de rigor, ni de formar parte de la banalidad que afecta y caracteriza a buena parte de la cultura desde hace tiempo. Pero creo que el, en gene-



Figura 1. Depósito de agua en Guijo de Coria.

ral, carácter ágrafo de los ingenieros, el no explicar o dar a conocer nuestras realizaciones y el cómodo y progresivo alejamiento voluntario de determinados ámbitos son una parte de los problemas que aquejan a nuestra profesión desde hace tiempo.

Divulgación no es sinónimo de falta de rigor. Existen numerosos ejemplos en otras disciplinas: la física en general y la de partículas en particular, la astronomía o la genética, por poner algunos ejemplos. La divulgación del estado del conocimiento y de los avances en estas áreas

no solo no le ha quitado rigor al trabajo de los científicos, sino que, al contrario, ha permitido un avance de la filosofía o de las ciencias sociales al incluir nuevas visiones del mundo. Y de paso ha permitido el reconocimiento de la importancia de los trabajos en estos campos. O, en un ámbito más cercano al nuestro, el de la arquitectura.

La divulgación en materia de ingeniería civil no debe circunscribirse a los círculos profesionales propios, sino que debe salir a la sociedad. No deja de ser paradójico y sintomático que, a modo de simple ejemplo y hablando de obras hidráulicas, los únicos depósitos de agua que aparecen en revistas o en otros medios de divulgación, tanto impresa como a través de internet, sean los realizados por otros profesionales.

Esta referencia está además relacionada con otra importante cuestión: la del diseño de las obras de ingeniería civil. Sin cuestionar en absoluto la necesidad de integrar en los proyectos de ingeniería equipos de personas procedentes de distintas disciplinas ni la muy superior formación en diseño de otros especialis-

tas, arquitectos fundamentalmente, sería deseable que la formación de los futuros ingenieros civiles incluyese estos aspectos.

Es una pena, pero el proceso que nos ha conducido desde los ya casi extintos planes de estudio a los actuales grados, tan solo tenían una ventaja –es una opinión personal y casi seguro equivocada–,

**“la sociedad está necesitando respuestas diferentes”**

la de aprovechar la ocasión para introducir en dichos planes algunas materias que conciernen o deberían concernir a los ingenieros civiles del siglo XXI: la consideración de la historia, del patrimonio, la reconsideración de la importancia de la energía que nunca debimos olvidar, la importancia de la estética, del paisaje o la importancia del diseño. Creo que no hemos sabido estar a la altura de

las circunstancias y hemos dejado pasar una buena oportunidad para adaptarnos a lo que la sociedad requiere y que los ingenieros deberíamos estar en condiciones de ofrecer. Creo que tanto los responsables colegiales como los universitarios, entre los que me incluyo, hemos hecho dejación de funciones, hemos sido cómodos y hemos sido egoístas en la elaboración de unos planes continuistas cuando la ingeniería y la sociedad están necesitando al menos algunas respuestas diferentes.

Ya dentro de la ingeniería civil o de las obras públicas –término que me resisto a abandonar–, en las obras hidráulicas los aspectos citados son mucho menos tratados que en otras disciplinas tales como las estructuras singulares o los puentes, por citar algunas.

No se pretende en estas breves páginas sino tan solo hablar un poco de algunas cuestiones importantes de las obras hidráulicas, a las que por desgracia y en términos generales se las supone perjudiciales para el territorio o al paisaje o ajenas a cuestiones formales y estéticas. Y por supuesto en el sentido de negar la mayor



Figura 2. Presa de Virnwy.



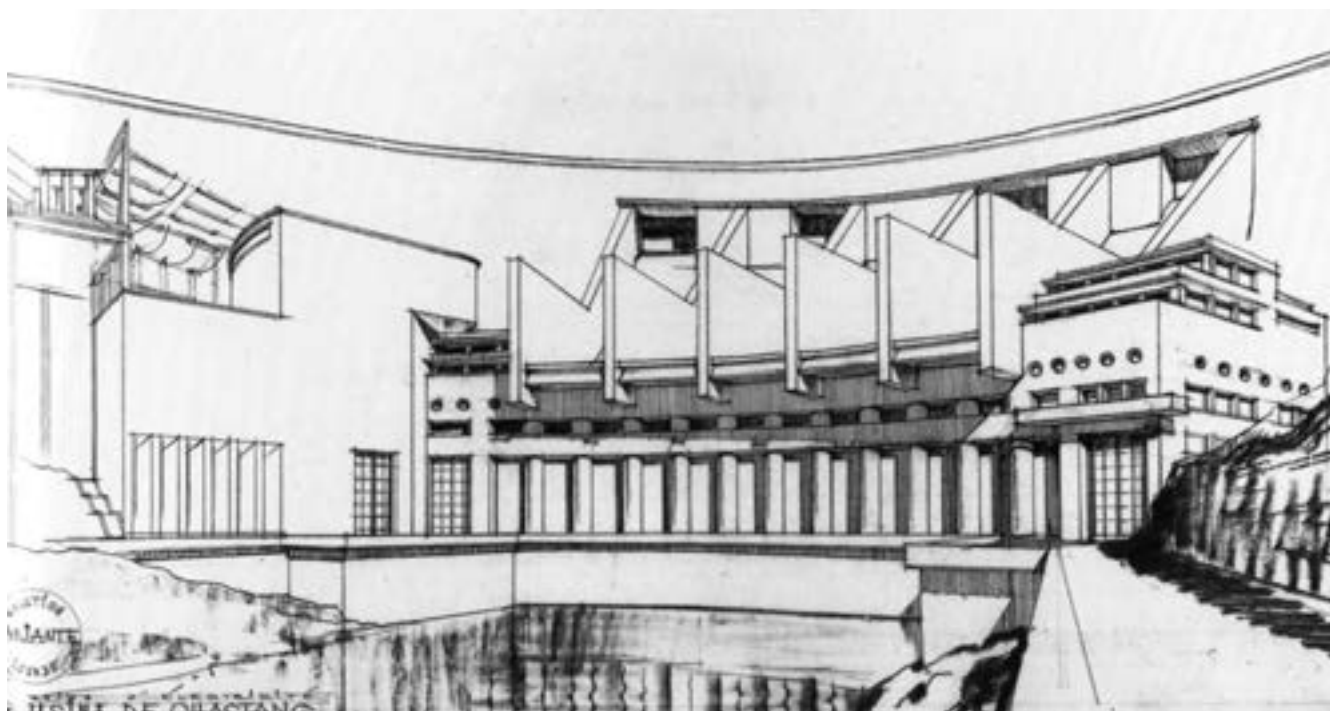


Figura 3. Presa de Chastang. Ingeniero: André Coyne.

#### Las formas en las obras hidráulicas.

No es nada nuevo el afirmar que las formas en la ingeniería son en primera instancia formas resistentes y formas funcionales. Y evidentemente así debe ser. Pero eso no es incompatible, o no debería serlo, ni con la estética de dichas formas ni con otras consideraciones, como por ejemplo la escultórica. La escultura como arte tiene una gran parte de simbolismo. Muchas de las obras de ingeniería pueden considerarse como obras de artesanía y muchas otras como obras de arte. Pero, deben ser también simbólicas?, deben tener una componente escultórica?. Por qué no?. En todas las épocas, las distintas civilizaciones y los distintos pueblos han tomado como símbolos no solo las manifestaciones estrictamente artísticas sino también muchas otras realizaciones. Evidentemente esto no es aplicable a todas las obras de ingeniería, pero sí se puede afirmar de forma genérica.

Las formas de las obras hidráulicas tienen unas limitaciones resistentes y funcionales muy importantes, inducidas en unos casos por los importantes esfuerzos hidrostáticos –caso de los depósitos de agua o, sobre todo, las presas-, en otros por la necesidad de conducir el agua de forma adecuada –caso de los canales, aliviaderos o desagües- o en otros por

la compleja interacción del agua con el terreno de apoyo. Estas limitaciones hacen que la libertad de formas sea relativamente baja. El caso más representativo es el de las presas, en las que las formas estética y visualmente más agradables, el arco o la bóveda, no son aplicables en un elevado número de casos. Incluso cuando sí que han sido o son aplicables, su definición tiene un elevado grado de complejidad, lo que históricamente se resolvía con los “románticos” ensayos estructurales en

modelo reducido y en la actualidad con los más prácticos, pero de menor encanto, métodos computacionales.

No obstante, en numerosas ocasiones se podía haber optado por presas bóveda o presas arco en vez de las menos gráciles presas de gravedad. Hasta la segunda mitad del siglo XX por la mayor sensación de seguridad y en las últimas décadas por la mayor economía, estas últimas se han impuesto casi siempre. Al respecto: cuando se dan las condicio-



Figura 4. Azud de Fuentes Claras, en Avila.

nes técnicas necesarias, la diferencia de coste entre ambos tipos justifica siempre el uso de una tipología generalmente menos agraciada formalmente?. Por qué la manía de seguir haciendo azudes con perfil de gravedad, cuando formalmente y/o estéticamente los arcos son más adecuados?. Quizás sea comodidad en muchos casos.

Complejo también es el manejo del agua en movimiento, sobre todo si al fluido se le ocurre traspasar el caprichoso número de Reynolds y pasa del dócil movimiento laminar al intempestivo pero estimulante régimen turbulento. El conocimiento de cuándo se produce y de sus efectos obliga de nuevo a la utilización de ensayos en modelo reducido, esta vez hidráulicos. La necesidad de disponer de elementos apropiados para ambos regímenes da lugar en ocasiones a formas

**“nunca debimos olvidar, la importancia de la estética, del paisaje o del diseño”**

muy diferentes que conducen el agua de forma muy diferente, con fuertes contrastes, caso de los aliviaderos y los cuencos amortiguadores, los trampolines, los canales y los elementos de disipación de energía en los mismos, etc.

Otra singularidad es la menor libertad espacial en cuanto a formas. Incluso cuando se trata de hacer puentes acueductos, las condiciones impuestas por los niveles del agua son importantes, lo que reduce el campo de actuación sobre los puentes convencionales. Algo similar pasa con los distintos elementos que forman las depuradoras, donde las formas y la estética debe adaptarse a condicionantes también muy fuertes. No obstante existen numerosos ejemplos que permiten algo más de imaginación, dando lugar a formas y diseños más variados de lo habitual en este tipo de obras, caso de los depósitos de agua elevados.

*Continuara en el proximo numero.*



Figura 5. Depósito de agua en el Polígono Industrial de San Cristobal, en Valladolid.



Figura 6. Presa de Aldeadávila.



# Ejemplos modelos y antimodelos

Esta sección no pretende juzgar y mucho menos dogmatizar. Su objetivo sólo es la reflexión. Que el lector realice el apasionante juego de analizar y opinar sobre lo que ve, o, si ha lugar, comparar los homólogos. Unos ejemplos serán positivos, otros negativos y otros ni una cosa ni la otra. El lector decidirá. (M.B.)



*Barcelona, Las Ramblas. Luminaria complicada en un entorno clásico.*



*Barcelona, Las Ramblas. Luminaria clásica en un entorno clásico.*



*Estambul, Santa Sofía. Bolardos.*



*Tenerife, Canarias. Un pequeño muro bien aprovechado.*



*Taormina, Sicilia. Un gran muro con "jardineras" mal aprovechado.*



*Nueva York-Boston. "Pórtico" de señalización en una encrucijada.*



Lisboa, Sintra. Pórtico de señalización.



Toulouse. Bolardos.



Boston, puerto. Bolardos.



Toulouse, Francia. El color como elemento básico.



La Gomera, Canarias. El espaldón del puerto, un gran muro bien aprovechado.



Atenas, obras en el Partenon. El color como elemento de camuflaje de las maquinarias.

Dadas las dificultades económicas que van apareciendo a lo largo del quehacer de esta publicación hemos considerado oportuno, a raíz de algunos comentarios, abrir una relación de "lectores colaboradores" que permita garantizar la continuidad de estos "cuadernos", con una aportación económica de 50 euros anuales. Contamos para ello con vuestra generosidad. Las suscripciones pueden realizarse a Carles Labraña: carleslabrana@upc.edu - Tel: 615841415. Muchas gracias.



# Banco Caminos

banco privado

*Superamos en más del doble  
las exigencias de solvencia  
del Banco de España.*

*Y continuamos a la cabeza  
en liquidez estructural.*

Exigencia mínima  
Banco de España.

8%

16,97%

**Banco Caminos**  
banco privado

Ratio de capital core Tier1  
a 31.12.2011 a nivel consolidado.

Sector Banca

78,16%

132,68%

**Banco Caminos**  
banco privado

Liquidez estructural a 31.12.2011  
a nivel consolidado.

\* FUENTE: Analistas Financieros Internacionales (AFI).