

La Estética en la Ingeniería: ¿materia pertinente o impertinente?

Aesthetics in engineering: Pertinent or impertinent

Joaquín Arnau Amo. Dr. Arquitecto

Catedrático de la Universidad Politécnica de Valencia. jarnau@cpa.upv.es

Juan María Songel González. Dr. Arquitecto

Profesor Titular de la Universidad Politécnica de Valencia. jsongel@cpa.upv.es

Resumen: La conciencia de la pertenencia de la obra de ingeniería al campo de lo creativo es cada vez más generalizada, al tiempo que la sociedad reclama mayor riqueza de contenidos y significados para la obra pública. Por ello la necesidad de integrar el mayor número de condicionantes en la forma final de la obra, controlando el orden que rige a ésta como totalidad, hace cada vez más ineludible adiestrar la sensibilidad estética y el sentido de la forma entre los estudiantes de ingeniería, superando el concepto de estética en la ingeniería como algo añadido o superfluo y dándole una consideración más adecuada en la formación de los ingenieros. Los nuevos planes de estudios constituyen una nueva oportunidad para suplir esta carencia.

Palabras Clave: Estética; Diseño; Arte; Control de la forma; Formación del ingeniero

Abstract: There is an ever increasing awareness among engineers that the work of engineering belongs to the realm of creativity, while at the same time society is demanding public works with ever richer content and meaning. There is therefore an increasing need to integrate the highest amount of conditioning factors in the final form of the work, while at the same time controlling the order that governs this form as a whole. This in turn makes it more and more necessary to train the aesthetic sensitivity of engineering students and help them develop a sense of form and skills in conceptual design, thereby overcoming the idea of aesthetics in engineering as an afterthought or optional extra and giving this the attention it requires in an engineer's education. New degrees' syllabuses now under discussion are a good opportunity to make up for these shortcomings.

Keywords: Aesthetics; Design; Art, Form control; Engineering education

1. La ingeniería como obra de arte

Cada vez hay mayor conciencia entre los ingenieros de la pertenencia de la obra de ingeniería al campo de lo creativo, llegando a reclamar su consideración como obra de arte⁽¹⁾. Por otro lado la sociedad espera contenidos que aporten mayor riqueza de significados a la obra de ingeniería, lo cual implica para el ingeniero una mayor capacidad para, sin perder el rigor que caracteriza su actividad, integrar en sus proyectos mayor cantidad y variedad de parámetros o aspectos, cuya síntesis configura la forma final como una totalidad con un sentido y coherencia propios.

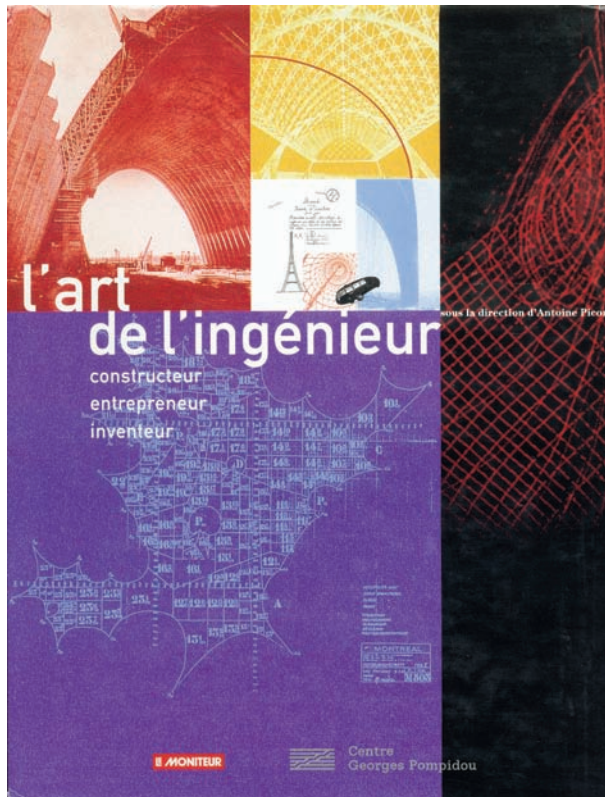
Esta visión de la obra como resultado de un proceso de síntesis de aspectos que inciden en su forma desde los primeros momentos de su concepción realza el valor

1. Engineering as a work of art

There is an ever increasing awareness among engineers that the work of engineering belongs to the realm of creativity, even to the extent of considering it as a work of art⁽¹⁾. The public, for their part, expect contents that give a greater wealth of meaning to engineering work, which implies the greater capacity of the engineer to incorporate a larger quantity and variation of aspects into their work, without losing the exacting nature of their activity, and thereby configure a final form with inherent meaning and coherence.

This vision of a work as the result of a process of synthesis of aspects that affect its form from the very moment of conception enhances the final form of the

Fig. 1. Portada del catálogo de la exposición L'art de l'ingénieur. Centre Georges Pompidou, Paris, 1997/Cover of the catalogue for the exhibition L'art de l'ingénieur. Centre Georges Pompidou, Paris, 1997.



de la forma final de la obra como un todo coherente y hace más factible su consideración como obra de arte. Es una visión muy arraigada en los profesionales de la forma, responsables del diseño de otros objetos de menor escala que tradicionalmente han sido considerados como obras de arte: pintores, escultores, arquitectos o diseñadores.

El carácter cada vez más interdisciplinar de la actividad relacionada con la planificación territorial o las obras públicas hace que cada vez haya mayor interacción con estas otras profesiones vinculadas al mundo del diseño, de la forma, de lo físico y de lo visual. De hecho, el ingeniero civil es el responsable de la forma y el diseño de los artefactos más grandes que es capaz de construir el hombre. Su ámbito propio es justamente el que abarca la franja extrema de la gran escala. Esto hace que el proyecto de la obra de ingeniería tenga unas características propias muy singulares que lo diferencian claramente del proceso de diseño de los objetos de menor escala, pero no por ello deja de estar presente la forma, y por lo tanto la posibilidad de considerar la obra de ingeniería como obra de arte, en unas condiciones, por otro lado, que, por su tamaño y envergadura, hacen que su presencia sea difícilmente eludible.

work as a coherent whole and makes it more feasible to consider this as a work of art. This is a very deep-rooted view among professionals responsible for the design of other smaller-scale objects that have traditionally been considered as works of art: painters, sculptors, architects or designers.

The increasing inter-disciplinary nature of activity related to regional planning or public works has implied a greater interaction with these other professions from the world of design, form, the physical and the visual. The civil engineer is, in fact, responsible, for the form and design of the largest artefacts man is capable of building. The engineer's scope is precisely set at the limits of the large scale and this means that the design of an engineering work has its own special characteristics that clearly differentiate it from the process of designing objects of smaller scale, though without this implying any loss of form. This then makes it possible to consider an engineer's work as a work of art, under conditions which on account of their size and importance makes their presence impossible to ignore.

Let us take for example the impressive Millau Viaduct, in the southeast of France, where the merging of talents between the prestigious engineer Michel Virlogeux and the influential and acclaimed Foster + Partners firm, has resulted in a happy marriage of audacious technology and elegant poise, in a work that is remarkable yet discreet, solemn and without stridency. The design plays with the splendid landscape, much in the manner of emphatic underlining that distinguishes and is, in turn, distinguished by the indicative force of art that points to and draws the eye to nature. We could then well ask what differences and affinities lie in the designed works and in the professionals responsible for the design⁽²⁾.

2. Shape and form under the particular conditions of engineering work

The differences between engineering work and other types of work are plain to see. The form of an engineering work is very much constrained by its use, functionality, its setting and interaction with its surroundings, its position within a region and landscape, its subjection to physical laws, to gravity, and to the construction process, all of which being decisive factors in the design of any engineering work.



Fig. 2. Puente tubular Britannia sobre el estrecho de Menai. 1850. Robert Stephenson, Ing./Tubular Britannia Bridge over the Menai Strait, 1850. Engineer: Robert Stephenson.

Véase como ejemplo el imponente Viaducto de Millau, en el sureste francés, adonde la convergencia de talentos, el del prestigioso ingeniero Michel Virlogeux y los de la empresa Foster and partners, tan mediática como acreditada, hace de la obra una feliz confluencia de audacia tecnológica y porte elegante, notable sin dejar de ser discreta, solemne sin estridencia: su diseño juega, con relación al espléndido paisaje, un a modo de subrayado enérgico que distingue y se distingue a la vez, con la fuerza indicativa del arte que apunta y señala a la naturaleza. Podríamos, pues, plantearnos qué diferencias y qué afinidades podemos encontrar tanto en las obras diseñadas como en los profesionales responsables de su diseño⁽²⁾.

2. La forma en las condiciones singulares de la obra de ingeniería

Con respecto a las obras las diferencias son bien evidentes. La forma de la obra de ingeniería tiene unos condicionantes muy fuertes. La utilidad, la funcionalidad, el encaje en el terreno y su interacción con él, la implantación en el territorio y el paisaje, el sometimiento a las leyes físicas, a la gravedad, así como el proceso constructivo, son factores decisivos en el diseño de la obra de ingeniería.

La escala sería el factor que mejor sintetizaría esta singularidad. Pero dentro del ámbito de la ingeniería civil podríamos distinguir dos rangos de escala. Por un lado el extremo de la gran escala, donde la ingeniería se encuentra al límite de sus posibilidades técnicas y la gama de posibles soluciones se reduce hasta el punto que parece que la forma viene ya determinada por las condiciones extremas que el tamaño de la obra impone. Este es el terreno exclusivo del ingeniero civil, donde pa-

Scale is the factor which best illustrates this singularity, but within the scope of civil engineering we may distinguish between two ranges of scale. On the one hand the very end of the scale, where engineering is pushed to the limits of its technical possibilities and where the range of possible solutions is restricted to such a point where it seems that form is purely determined by the extreme conditions imposed by the size of the work. This is the exclusive terrain of civil engineering, where it appears that technical conditions are the only ones that need be considered and where aesthetics has little or no room for manoeuvre. However, the work still has its form and if there is form there is perception, an effect, an aesthetic consequence. Just as with any physical object, there is no engineering work that is aesthetically neutral.

But if we go back through the history of engineering, we may ask whether in these extreme conditions there was not the possibility to select between different options, even if these were only at the level of the smaller scale components within the same work. We may similarly ask whether those 19th century engineers who according to all accounts were so absorbed in their risk taking and revolutionary technical praxis, were not also aware of the geometrical and visual order generated by their designs.

The tubular Britannia Bridge over the Menai Strait and the Royal Albert Bridge over the River Tamar in Saltash are two contemporary bridges built in the mid-19th century and exponents of the groundbreaking engineering of this period, with similar length main spans and coincidental functional requirements as both of these were railway bridges. The tubular deck solution of the Britannia was a pioneering design and

rece que los condicionantes técnicos son los únicos que se pueden considerar, y donde parece que la estética poco o nada tiene que aportar. Sin embargo la obra no deja de tener forma, y si hay forma hay una percepción, un efecto, una consecuencia estética. No hay obra de ingeniería, como tampoco hay ningún objeto físico, que sea estéticamente neutra.

Pero si indagamos en la historia de la ingeniería puntera ¿realmente podemos afirmar que en estas situaciones de condiciones extremas no ha habido posibilidad de elección entre distintas opciones, aunque tan solo haya sido a nivel de componentes a una escala menor dentro de la misma obra? Y por otro lado los ingenieros que la historiografía clásica de la ingeniería del siglo XIX nos presentaba tan absortos en su praxis técnica tan arriesgada y ajustada ¿realmente no fueron conscientes del orden geométrico y visual que sus diseños iban generando?

El puente tubular Britannia sobre el estrecho de Menai y el puente Royal Albert sobre el río Tamar en Sal-tash son dos puentes contemporáneos construidos a mediados del siglo XIX, exponentes de la ingeniería puntera de este periodo, con luces similares en sus dos tramos centrales y con requerimientos funcionales parejos al tratarse en ambos casos de puentes para el ferrocarril. La solución del tablero en sección tubular del puente Britannia fue pionera y marcó un precedente importante en la historia de las estructuras⁽³⁾, dando lugar a un puente en viga continua de sección constante. Pocos años después Brunel aplicó la sección tubular, en este caso con perfil elíptico, para el arco comprimido de puente Royal Albert, que formaba parte de una celosía lenticular con un cordón traccionado formado por una cadena de barras, de la que colgaba el tablero, dando así lugar a un puente de sección variable. Dos diseños contemporáneos distintos para dos situaciones de condiciones extremas similares.

Stephenson decidió construir las pilas del puente Britannia antes de tener definida la solución tubular del tablero, de manera que, sobrepasando la altura de éste, pudieran eventualmente disponerse cadenas para ayudar a soportar los tubos o para procurar una plataforma que facilitara la construcción de éstos in situ. Finalmente, como es sabido, no se dispusieron las cadenas y la forma final de las pilas sobrepasando el nivel de la viga tubular continua quedó como testimonio de la incidencia del proceso constructivo en la forma final de la obra. Todo ello generó un orden formal en el que aparecía una estructura de elementos regida por la or-

one that served as a landmark in the history of structures⁽³⁾, giving rise to a continuous girder bridge of constant section. Several years later Brunel applied the tubular section, in this case with an oval profile, to form the compressed arch of the Royal Albert bridge, which forms part of a lenticular truss with a chain bottom chord and suspended standards supporting the railway deck, thereby giving rise to a variable section bridge. Two different contemporary designs for similarly extreme conditions.

Stephenson decided to construct the piers of the Britannia bridge before the tubular solution of the deck was fully defined, so these were built to exceed the height of the deck itself, thereby allowing the option of supporting the tubes by chains or, alternatively, constructing a platform on which to construct the tubes in-situ. Finally, and as is well known, the idea of the chains was done away with and the final form of the piers rose above the level of the continuous tubular girder and serves as a testimony of the effect of the construction process on the final form of the work. All this created a formal order where the structural components were all governed by orthogonality and where the horizontal element construing the tubular deck was seen to take the form of a relatively thick opaque band which, rather than forming a continuous length, was interrupted and regulated by opaque vertical towers of similar thickness in the form of the masonry piers. As these piers were of greater height, they appeared more slender and were clearly outlined against the horizontal strip of the deck, in such a way that the vertical elements were superimposed on and contrasted against the horizontal elements, generating a rhythmic series and creating a controlled perception of both the scale of the bridge and the landscape.

Were Stephenson and Brunel aware of the visual and geometric order that their designs created? José Antonio Fernández Ordoñez holds, and illustrates by examples, the thesis that many of these pioneering engineers had an aesthetic awareness that, to a greater or lesser extent, was of essential importance to them⁽⁴⁾. This aesthetic awareness did not simply imply the addition of decorative elements to serve as adornments or help establish visual references –such as the lions at either end of the Britannia bridge– following a concept of the aesthetics of engineering as something additional or superfluous, so characteristic



Fig. 3. Puente Royal Albert. Saltash, 1859. Isambard Kingdom Brunel, Ing./Royal Albert Bridge, Saltash, 1859. Engineer: Isambard Kingdom Brunel.

togonalidad, donde el elemento horizontal que formaba el tablero tubular configuraba una franja opaca relativamente gruesa, que, en lugar de formar un elemento continuo, quedaba interrumpida y pautada por las franjas verticales opacas de similar espesor que formaban las fábricas de sillar de las pilas. Éstas, al tener una altura mayor aparecían más esbeltas y perfilaban claramente sus contornos sobre los tramos de la franja horizontal del tablero, de manera que los elementos verticales se superponían y contraponían a los horizontales, generando así una serie rítmica que constituía una referencia fundamental para controlar visualmente la medida del puente y del territorio.

¿Fueron conscientes Stephenson y Brunel del orden geométrico y visual que sus diseños habían generado? José Antonio Fernández Ordóñez sostiene, e ilustra con ejemplos, la tesis de que una buena parte de estos ingenieros pioneros tuvieron una conciencia estética que, de una forma más o menos explícita, constituía para ellos una cuestión esencial⁽⁴⁾. Y esta conciencia estética no les llevaba simplemente a añadir elementos decorativos que pudieran embellecer la obra o contribuir a establecer unas referencias visuales – como por ejemplo los leones en los accesos del puente Britannia – siguiendo un concepto de la estética de la ingeniería como algo añadido o superfluo, tan característico del siglo XIX, sino que involucraba también a aspectos técnicos decisivos que afectaban a la forma de la obra, demostrando así un control de la forma como totalidad, como resultado de la síntesis de todos los aspectos, tanto técnicos como de otro orden, que inciden en la forma final desde los primeros momentos del proceso de diseño de la obra. Es decir, si aceptamos la premisa de que para estos ingenieros la estética de la ingeniería incluía las cuestiones que los ingenieros consideran im-

of the 19th century. Their aesthetic awareness in fact also involved decisive technical aspects that affected the form of the work, thereby demonstrating a control over the form as a whole, as a result of the synthesis of all aspects, both technical and otherwise, that affect the final form, from the very start of the design process. This means that if we accept the premise that for these engineers the aesthetics of engineering included questions that engineers take as being important, such as functional, strength or construction aspects, we may then understand their awareness of the aesthetic consequences implied in the form of the engineering work even though this was strongly conditioned by the technical limitations of the day.

Two other exponents of groundbreaking engineering, the Brooklyn Bridge and the Eiffel Tower, have had wide-ranging aesthetic consequences, not on account of their added adornments but on their more strictly technical aspects, and to the point where the innovation of their forms have given rise to a new aesthetic which has attracted the attention and even served as a source of inspiration for artists. If the engineers responsible for their design, Roebling and Eiffel, had not developed an aesthetic sensitivity, a visual culture and a sense of form, the cultural world would not have perceived this new formal order with its inherent conceptual coherence in these forms that were so largely conditioned by restricted technical possibilities.

However, there is a second range of scale that may also be identified within the field of civil engineering. This is that of the engineer who is not so strongly conditioned by the size of the work, and one where the range of possible solutions is wide open as the state-of-the-art is way above the scale of the work and the degree of necessity. As this scale range presents a greater degree of freedom it is common to hear speak of aesthetic considerations in the design of the engineering work, as though these aspects fitted here but not in those works that are strongly conditioned by their size and at the very limit of the technical possibilities prevailing at the time.

Most engineering works today fall within this range and it is precisely here that the powers that be have demanded that particular engineering works take on the mantle of emblematic or singular works. In these cases the artistic dimension is “added” and the “aesthetic aspect” and the integration of variables

portantes, como los aspectos funcionales, resistentes o constructivos, podremos entender su conciencia de las consecuencias estéticas que tiene la forma de la obra de ingeniería aunque ésta se encuentre fuertemente condicionada por unas posibilidades técnicas limitadas.

El puente de Brooklyn o la torre Eiffel, exponentes de la ingeniería puntera de su tiempo, han tenido unas consecuencias estéticas de primera magnitud, no precisamente basadas en sus elementos ornamentales añadidos, sino en los aspectos más estrictamente técnicos, hasta el punto de generar, por la novedad de sus formas, una nueva estética que ha atraído la atención, e incluso ha sido fuente de inspiración para los artistas. Si los ingenieros responsables de su diseño, Roebling y Eiffel, no hubieran desarrollado una sensibilidad estética, una cultura visual y un sentido de la forma, el mundo de la cultura difícilmente habría percibido en esas formas tan fuertemente condicionadas por las limitadas posibilidades técnicas un nuevo orden formal con una coherencia conceptual propia.

Pero hay un segundo rango de escala que también podemos identificar dentro del ámbito de la ingeniería civil. Sería el de la ingeniería que no está fuertemente condicionada por su tamaño, aquella en la que el abanico de posibles soluciones se abre porque el estado de la técnica está muy por encima de la escala de la obra, del grado de necesidad. Al presentarse en este rango de escala mayores grados de libertad es frecuente entonces empezar a oír hablar de consideraciones estéticas en el diseño de la obra de ingeniería, como si ahora estas cuestiones sí tuvieran cabida, pero no cuando aquella se encontraba fuertemente condicionada por su tamaño y al límite de las posibilidades técnicas del momento.

Este rango de escala es el caso que con más frecuencia se ha presentado en los últimos años. En especial cuando, generalmente desde las esferas del poder, se ha demandado un planteamiento de la obra de ingeniería como obra singular o emblemática. En estos casos la dimensión artística se "añade", se habla ya del "aspecto estético" y de la integración de variables no estrictamente técnicas, como si la estética entrara en juego o cobrara protagonismo en la obra de ingeniería sobre todo cuando se trata de obras singulares, cuando estamos fuera de lo estrictamente técnico, o cuando, buscando deliberadamente la belleza, se plantea la forma, el "efecto estético", como objetivo prioritario. Sin embargo, decíamos, la forma está presente tanto en este rango de escala como en el extremo de la

that are not strictly technical come to the fore. This under the conception that aesthetics can only come into play and take protagonism in a work of engineering when this refers to singular works, when we have moved on from the purely technical or when we are deliberately seeking beauty, and where the "aesthetic effect" is the priority objective. However, we may well answer that form is present both in this range of scale as in those at the very limit of the large scale. Nothing made is without form. The strictly technical should also adopt form, and if there is form there is aesthetics. Another very different question is that the form be adopted as an a precondition or as a result of a process. In the first case, the invention wielded by the architect (as is the case of Santiago Calatrava in a number of his works) subjects the engineer to a forced and reversed process, that leads to the whim of form, seducing but devoid of meaning: and it is this seduction, common among administrators and officialdom, that eventually saves a product that fails to convince engineers and architects alike.

In all events, the need to perceive the reasons behind the form of an engineering work, the wealth of meanings that it expresses and the underlying order in the same is something that affects work within both these ranges and, to all extents and purposes, is something that affects civil engineering as a whole. In both cases an aesthetic judgement makes it incumbent to analyse form, to weigh up the meanings attributed to the work and to be aware of the demands of every age. This judgement is both objective (as the form corresponds to the object) and subjective (as it is perceived and provokes various emotions), though here, "subjective" should in no way be taken to mean "arbitrary".

An aesthetic judgement is required of all professionals concerned with form, including engineers, and responds to the creative process, a process involving a series of conditions and where form is continuously controlled by an underlying awareness of order that governs the whole. This capacity to control the order governing the form of a work as a whole is common among all creators of works of art, among all those professionals managing physical forms, be they designers, painters, sculptors or architects. Much of the training of all these professionals is related to the analysis of form, the design process of the configuration of the

gran escala. Nada realizado es informe. Lo estrictamente técnico también debe adoptar forma, y si hay forma hay consecuencia estética. Otra cuestión muy distinta es que la forma sea un planteamiento apriorístico o que sea el resultado de un proceso. En el primer caso, la invención que esgrime el arquitecto (es el caso de Santiago Calatrava en algunas de sus obras) somete al ingeniero a un proceso forzado a la inversa, que nos conduce al capricho de la forma, seductora pero sin sentido: es esa seducción, común a administrados y administradores, la que salva a fin de cuentas la certidumbre de un producto que no convence, sin embargo, ni a ingenieros, ni a arquitectos.

En todo caso la necesidad de percibir en la obra de ingeniería las razones de su forma, la riqueza de significados que expresa y el orden que subyace en ella es algo que afecta tanto a un rango como a otro, en definitiva algo que afecta a todo el ámbito de la ingeniería civil. Tanto en un caso como en otro al juicio estético le atañe analizar las formas, ponderar los significados que les atribuimos, y estar atento a los postulados de cada época. Es un juicio a la vez objetivo (puesto que la forma corresponde al objeto) y subjetivo (puesto que es percibida y suscita emociones varias). Subjetivo, por otro lado, no debe entenderse en modo alguno como arbitrario.

El juicio estético concierne, pues, a todos los profesionales de la forma, incluidos los ingenieros, y atiende al proceso creativo, un proceso en el que se está produciendo una síntesis de condicionantes y en el que la forma está continuamente controlada por una conciencia de orden que subyace y rige la totalidad. Esta capacidad de controlar el orden que rige la forma de la obra como totalidad es común a todos los creadores de obras de arte, a todos los profesionales que en su quehacer manejan formas físicas: diseñadores, pintores, escultores o arquitectos. Todos ellos tienen en su formación una parte importante relativa al análisis de la forma y al proceso de diseño o configuración de formas de objetos que deben responder a unos requerimientos y al mismo tiempo expresar una cierta lógica formal, un cierto sentido de orden global, una cierta coherencia que le dé consistencia conceptual a la obra en su totalidad.

3. La estética en la formación de los ingenieros.

Sin embargo en la formación de los ingenieros el adiestramiento de la sensibilidad estética, la conciencia



Fig. 4. Tour Eiffel.
Robert
Delauney,
1926/Eiffel
Tower. Robert
Delauney, 1926.

shapes of objects which all have to respond to certain requirements while at the same time expressing a certain formal logic, a certain sense of global order, a certain coherence that confers a conceptual consistency to the work as a whole.

3. Aesthetics in the training of engineers

However, when we look at an engineer's education we may see that aesthetic sensitivity, an awareness of form and its control throughout the design process are all pushed to the background, as it would appear that these aspects do not belong to the essence of engineering and that they go against the predominantly abstract and quantitative nature of their education and the aspects that tend to receive

de la forma y su control durante el proyecto quedan relegados a un segundo término, parece que no pertenezcan a su esencia, que sean antagónicos con el carácter predominantemente abstracto y cuantitativo de su formación y con los aspectos que más se enfatizan en ella, como la eficacia, la economía, la seguridad o la resistencia. La estética, entendida como sensibilidad pura, a merced de instancias huidizas, cuales son las del color, las luces y las sombras, agentes activos de impresiones y expresiones de poco menos que imposible control, parece que debería quedar al margen de las cuestiones que los ingenieros consideran importantes.

Pero esto no ha sido siempre ni en todas partes así. A lo largo de la historia de las instituciones docentes de la ingeniería civil no podemos dejar de encontrar ejemplos que reflejan una conciencia de la importancia de la componente visual, física y táctil para llegar a desarrollar un sentido de la forma en los estudiantes de ingeniería. (Digamos de paso que la regla de oro de L. B. Alberti, maestro de arquitectos, que ordena a mayor escala menor ornamento, ha venido siendo intuitiva y puesta en práctica por los mejores ingenieros).

Así encontramos ya en dos instituciones señeras como la *Ecole Polytechnique* de París o el Politécnico Federal de Zurich sendos fundadores institucionales e introductores de nuevas disciplinas con una fuerte componente visual: Gaspard Monge, con relación a la Geometría Descriptiva, y Carl Culmann junto con Wilhelm Ritter, con relación a la Estática Gráfica. Permaneciendo en la primera de ellas, encontramos también desde su fundación a Jean Nicolas Louis Durand, profesor de *Arquitectura* hasta 1830. Sus lecciones⁽⁵⁾ reflejan el firme propósito de racionalizar el proceso de diseño y desentrañar la lógica interna de la forma, identificando y sistematizando elementos y relaciones que estructuran la forma de diferentes tipos de construcciones. Afloran en ellas conceptos para una metodología proyectual, como la composición, el tipo o la combinación de elementos, así como principios ordenadores de la forma, como la axialidad, la modulación, la secuencialidad, el ritmo, la jerarquía o la gradación, que ayudan todos ellos a desvelar el orden geométrico y visual del proyecto de la obra y la dialéctica entre el todo y las partes.

El compendio de lecciones de Durand fue libro de texto en la Escuela de Ingenieros de Caminos de Madrid durante buena parte del siglo XIX en una asignatura homóloga y homónima que, desde la apertura definitiva de la escuela en 1834, fue aportando contenido estético a la formación de los ingenieros. Esta materia

more emphasis such as efficiency, economy, safety or strength. Aesthetics is taken as pure sensitivity, something at the mercy of fleeting instances such as colour, light and shade, active impressions and expressions that are nigh on impossible to control and which should apparently be left to one side of those matters that truly concern the engineer.

However this has not always been the case. Throughout the history of civil engineering colleges and schools we can find constant examples of the importance attached to visual, physical and tactile factors in order to develop a sense a form among engineering students. Here, we could mention in passing the golden rule of the master of architects, L. B. Alberti, to the effect that the larger the scale, the less the adornment. This being a principle that still holds strong and one put into practice by the best engineers.

In two outstanding institutions such as the Ecole Polytechnique in Paris or the Federal Polytechnic of Zurich we may find renowned founding figures who introduced new disciplines with a strong visual emphasis: Gaspard Monge the father of Descriptive Geometry, and Carl Culmann and Wilhelm Ritter and their Graphic Statics. When remaining with the first of these colleges, we also encounter Jean Nicolas Louis Durand, a professor of Architecture from the founding of the college to 1830. His lectures⁽⁵⁾ reflect a firm intention to rationalize the design process and to unearth the internal logic of form, identifying and systemizing elements and relations that structure the form of different types of constructions. These lectures abound with concepts for a projectual methodology, such as composition, the type or combination of elements, as well as the organizing principles of form, such as axiality, modulation, sequentiality, rhythm, hierarchy or gradation, which all help reveal the geometrical and visual order of the design of a work and the interrelationship between the whole and its parts.

The compendium of lectures given by Durand served as a text book at the College of Civil Engineers in Madrid throughout the large part of the nineteenth century in the corresponding subject of the same name and which, from the very opening of the college in 1834, continued to provide aesthetic content to the education of engineers. The subject developed continuously and received particular impetus in Spain in the 1960s with the

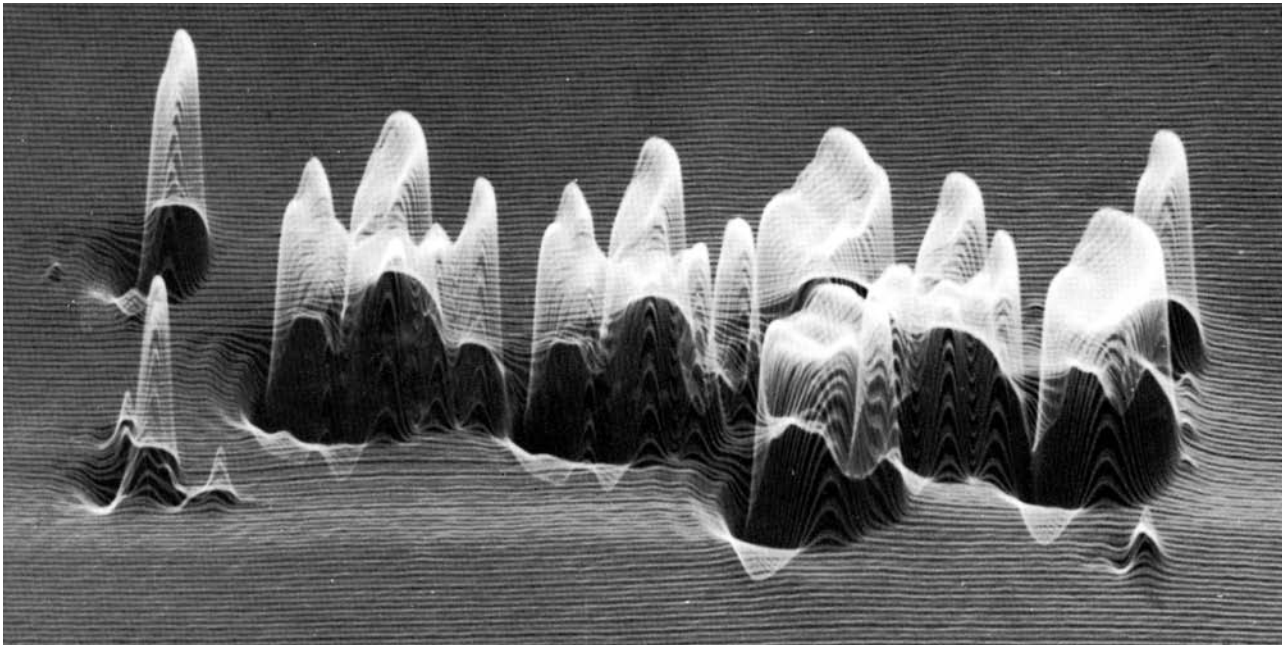


Fig. 5. Ejercicio del curso de diseño visual para estudiantes de ingeniería del M.I.T./Exercise from the visual design course for engineering students at the M.I.T.

fue evolucionando de forma ininterrumpida para cobrar un fuerte impulso en España con la aportación de José Antonio Fernández Ordóñez desde los años 60, cuando la estética de la ingeniería ya iba tomando cuerpo como disciplina desde mediados del siglo XX en las universidades inglesas y norteamericanas. En sus clases de *Historia y Estética de la Ingeniería* ⁽⁶⁾ Fernández Ordóñez asume como objetivo fundamental el adiestramiento de la sensibilidad estética, de la percepción visual y del sentido de la forma en los alumnos de ingeniería de caminos, mostrando ejemplos tanto del ámbito estricto de la ingeniería como de otros ámbitos del arte para establecer así conexiones con otras disciplinas artísticas.

Otra importante institución docente e investigadora de renombre internacional en el ámbito de la ingeniería como el *Massachusetts Institute of Technology* (M.I.T.) también ha sabido reconocer la importancia de la educación visual para los ingenieros, con el convencimiento de que tanto el ingeniero como el artista se sienten motivados por detectar y desvelar órdenes estructurales tanto visibles como invisibles, a partir del estímulo de la contemplación tanto visual como mental, buscando los mismos principios de unidad y de organización, aunque de modos diferentes y con fines diferentes. A mediados de la década de 1950 el profesor Robert Preusser, que había sido alumno de Gyorgy Kepes⁽⁷⁾, fue invitado por éste para implantar en el M.I.T. un curso de diseño visual para estudiantes de ciencias

contribution of José Antonio Fernández Ordóñez, at a time when aesthetics of engineering had already begun to take shape as a discipline in British and American universities as from the mid-twentieth century. In his lectures on History and Aesthetics of Engineering⁽⁶⁾, Fernández Ordóñez gave particular importance to the training of aesthetic sensitivity, to visual perception and the sense of form of his civil engineering students, providing examples both from the engineering world and from other fields of art in order to establish connections with other artistic disciplines.

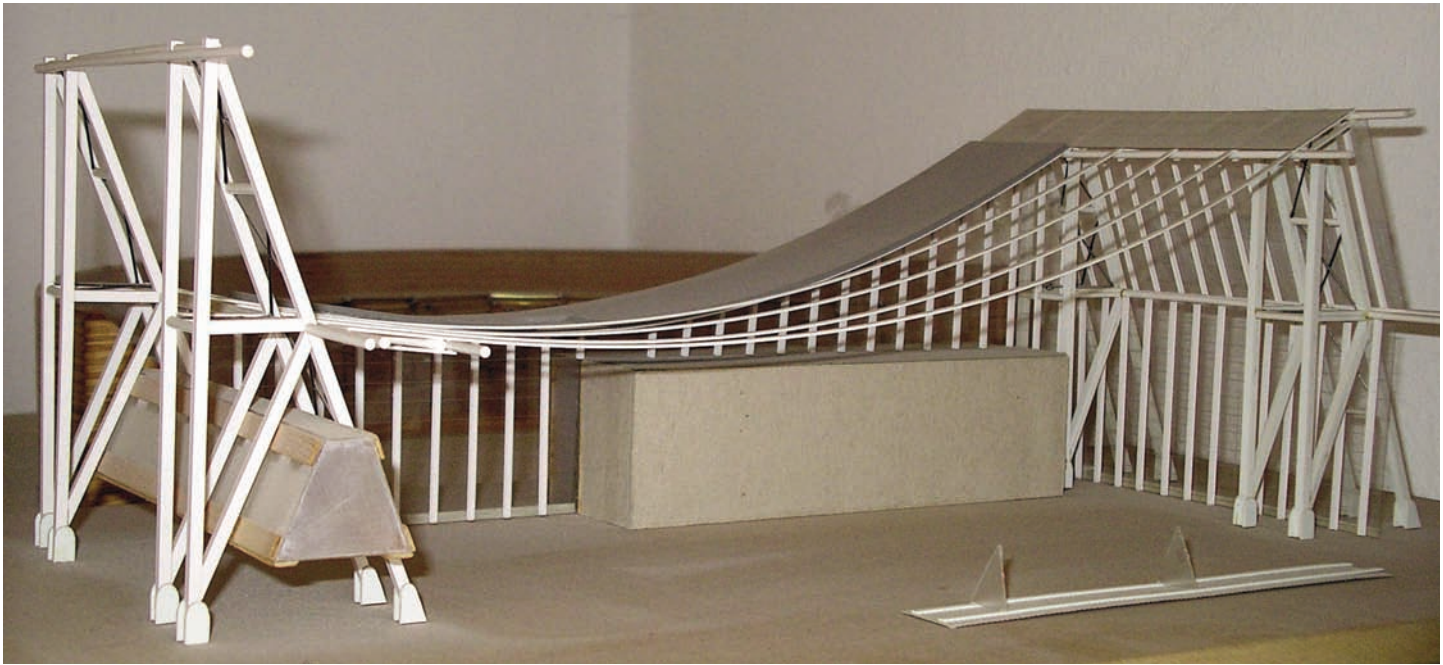
Another important teaching and research institute of international prestige in the area of engineering, the Massachusetts Institute of Technology (M.I.T.), has also recognised the importance of visual education for engineers, in the knowledge that both the engineer and the artist feel motivated to detect and uncover both visible and invisible structural orders, through the stimulation of both visual and mental contemplation, seeking the same principles of unity and organization, though by different means and for different ends. In the mid-1950s Professor Robert Preusser, who had been a student of Gyorgy Kepes⁽⁷⁾, was invited by this latter to start up a course on visual design for science and engineering students at the M.I.T.⁽⁸⁾. The basic object of the course was to train these students in the discipline of visual invention, organization and

e ingeniería⁽⁸⁾. Objetivo fundamental del curso era adiestrar a estos estudiantes en la disciplina de la invención, de la organización y de la expresión visuales, centrada en valores subjetivos-cualitativos, como contrapeso a la formación inductivo-cuantitativa sobre la cual se basa la enseñanza científica. En la metodología empleada tuvo una gran importancia el trabajo de taller, intentando huir de las herramientas tradicionales del artista y explotar al máximo las posibilidades que ofrecen los materiales, herramientas y técnicas industriales propios del ingeniero. El descubrimiento de las formas generadas por diferentes procesos físicos aplicados a distintos materiales o la exploración de las variaciones que surgen al introducir determinados principios organizativos abría los ojos de los estudiantes al potencial estético de la forma surgida desde la técnica o la industria. La pedagogía de la forma que implicaba la metodología experimental de los talleres de la Bauhaus no quedaba muy lejana de este planteamiento.

También es significativa la experiencia del curso de diseño conceptual de estructuras que se ha venido impartiendo en la Universidad de Stuttgart, impulsado por el profesor Jörg Schlaich⁽⁹⁾, en el que se pretende llegar a un diseño conceptualmente consistente, capaz de integrar aspectos o variables muy diversos, un diseño creativo de estructuras no sólo seguras y económicas sino también eficientes, estéticamente satisfactorias y en armonía con la naturaleza. Se trata de un curso que parte de un enfoque más amplio, que considera el proyecto y la forma de la obra desde un planteamiento holístico, y que ha tenido como exponentes el desarrollo de un proyecto de investigación y la organización de un simposio internacional sobre diseño conceptual de estructuras⁽¹⁰⁾. Se intenta pues en este curso alcanzar un mayor grado de creatividad y percepción intuitiva basada en el conocimiento y la experiencia, ampliando el enfoque analítico-matemático clásico de la ingeniería, que tiene habitualmente como punto de partida un diseño u objeto ya previamente dado. El trabajo con maquetas es otro aspecto interesante de este curso, que refleja la importancia que se concede a la construcción con las manos, para desarrollar la percepción física, táctil y visual de la relación entre forma, fuerza y material. Sin duda la experiencia del propio profesor Schlaich, que trabajó y se formó como carpintero al terminar sus estudios de bachiller, le llevó a desarrollar un sentido de la forma que le ha permitido apreciar el valor de esa percepción sensorial que posibilita el trabajo

expression, based on subjective-qualitative values, as a counterweight to the inductive-quantitative education on which scientific learning was based. The methodology placed great emphasis on the workshop and attempted to flee from the traditional tools of the artist and sought to fully exploit the possibilities offered by the materials, tools and industrial techniques pertinent to the engineer. The discovery of forms generated by different physical processes applied to distinct materials or the exploration of the variations that arose on introducing specific organizational principles opened the students' eyes to the aesthetic potential of form arising from technique or industry. This being a focus not far removed from the pedagogy of form implied by the experimental methodology of the Bauhaus workshops.

Reference can similarly be made to the course on the conceptual design of structures given at Stuttgart University, under the auspices of Professor Jörg Schlaich⁽⁹⁾, and which seeks to bring about a conceptually consistent design, capable of integrating very different aspects or variables, in a creative design which is not only safe and economic but also efficient, aesthetically pleasing and in harmony with nature. This particular course is based on a far broader focus which considers the design and the form of a work from a holistic perspective and one duly reflected by the development of a research project and the organization of an international symposium on the conceptual design of structures⁽¹⁰⁾. This course then seeks to obtain a higher level of creativity and intuitive perception, based on knowledge and experience and broadening the traditional analytical mathematical focus of engineering that habitually serves as the starting point for any given design or object. Model making is another interesting aspect of this course and this hands-on approach serves to develop a physical, tactile and visual perception of the relation between form, force and material. The experience of Professor Schlaich himself, who trained and worked as a carpenter on completing his secondary studies, undoubtedly gave him a sense of form that allowed him to appreciate the value of this sensorial perception provided by work with physical models. This being a consideration shared by other important structural engineers, such as Mamoru



con modelos físicos. Un valor que comparten otros importantes ingenieros de estructuras, como Mamoru Kawaguchi, que, con ocasión de una reciente exposición de algunas de las maquetas de sus estructuras, celebrada en Valencia⁽¹¹⁾, coincidiendo con el simposio internacional del quincuagésimo aniversario de la *International Association for Shell and Spatial Structures*, manifestaba la importancia de comprender las estructuras y sus principios resistentes no sólo con la mente sino también con los sentidos y señalaba el valor que en su trabajo atribuye a la construcción de maquetas para comprender el comportamiento de las estructuras.

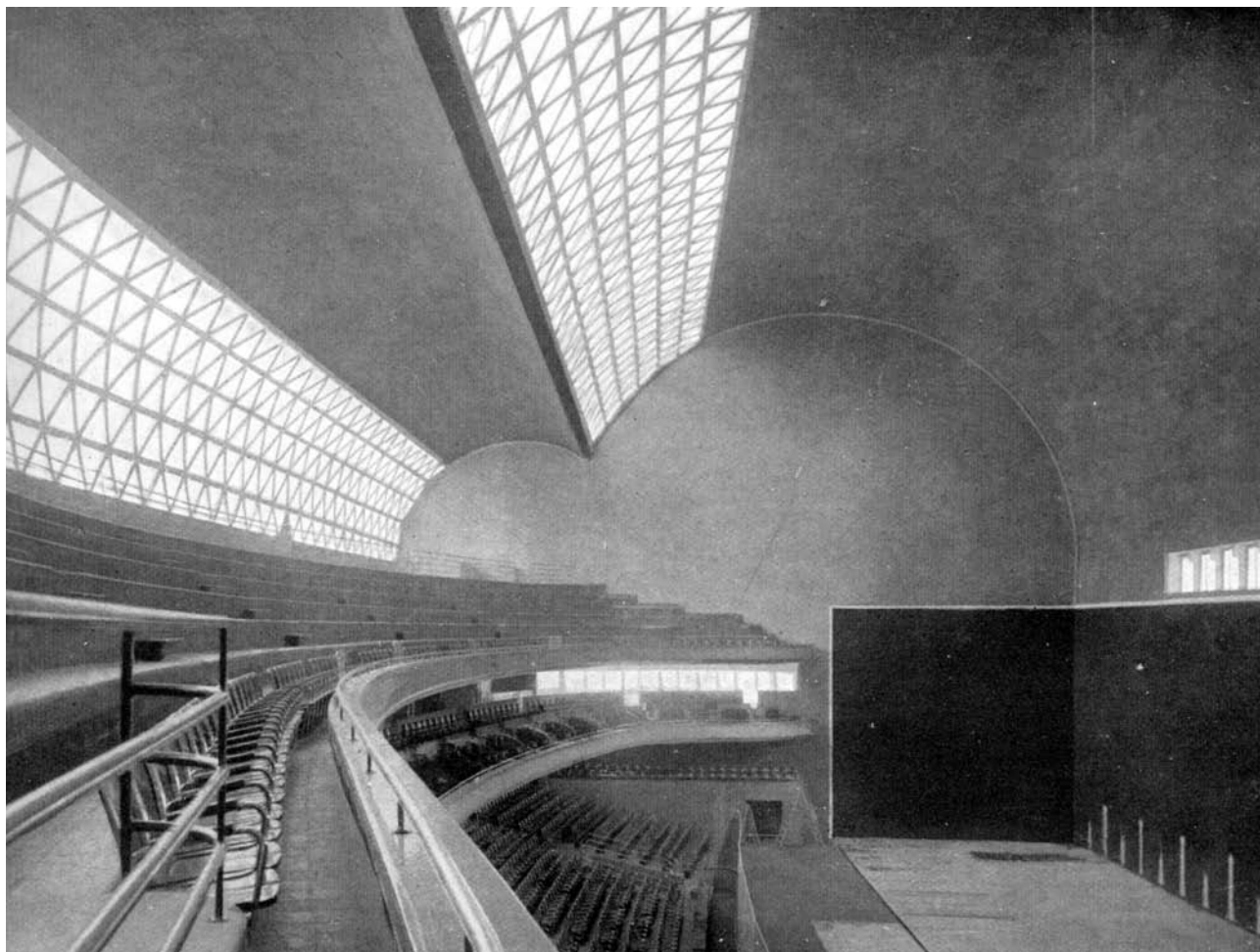
Es muy revelador encontrar en muchos de los pioneros de la ingeniería más innovadora del siglo XX diversos antecedentes en su formación, que han contribuido a configurar en ellos una sensibilidad estética, una cultura de la forma construida y una educación visual. Así por ejemplo señala el profesor David P. Billington⁽¹²⁾, en el caso de Robert Maillart, la influencia que en su actitud hacia el diseño tuvieron los profesores del Politécnico Federal de Zurich, padres de la *Estática Gráfica*, Carl Culmann y Wilhelm Ritter, anteriormente mencionados. El propio Eugène Freyssinet en uno de sus escritos⁽¹³⁾ se refiere a los artesanos de su tierra natal como a sus primeros y más eficaces educadores, los que hicieron de él un artesano completo, y a esa vivencia como la base más sólida de su formación técnica, que le proporcionaría una intuición controlada por la experiencia, hasta el punto de relativizar el papel del cálculo cuan-

Fig. 6. Maqueta del pabellón 26 de la feria de Hannover. Jörg Schlaich, Ing. Thomas Herzog, Arq./Model of pavilion 26 of the Hanover Fair. Engineer: Jörg Schlaich. Architect: Thomas Herzog. FH Erfurt Fakultät Architektur

Kawaguchi who, during a recent exhibition in Valencia⁽¹¹⁾ of some models of his structures, and coinciding with the international symposium of the fiftieth anniversary of the International Association for Shell and Spatial Structures, made reference to the importance of understanding structures and their strength properties not only through the mind by also by the senses and the value that he attached in his work to the construction of models in order to understand the behaviour of the structures.

*It is very revealing to discover the diverse educational background of many of the most innovative engineering pioneers of the 20th century, and which has helped to give them an aesthetic awareness, a culture of the constructed form and a visual education. In this regard Professor David P. Billington⁽¹²⁾ has referred to the case of Robert Maillart and how he was influenced by the professors at the Federal Polytechnic of Zurich, the said Carl Culmann and Wilhelm Ritter, the fathers of *Graphic Statics*. In one of his writings, Eugène Freyssinet⁽¹³⁾ refers to the craftsmen of his native land as his first and most effective teachers and responsible for turning him into a complete craftsman. He refers to this experience as the very foundation for his technical training and one that would give him an intuition weighted by experience and to the point where he would reconsider the role*

Fig. 7. Frontón Recoletos. Madrid, 1935. Eduardo Torroja, Ing. Secundino Zuazo, Arq./Recoletos Frontón pavilion. Madrid, 1935. Engineer: Eduardo Torroja. Architect: Secundino Zuazo.



do la experiencia se hallaba en contradicción con el resultado del cálculo.

También en la formación de Eduardo Torroja encontramos antecedentes que han contribuido a formar en él un sentido de la forma y una cultura visual, principalmente en la figura de su padre, arquitecto y profesor de geometría, autor de un tratado sobre superficies regladas, unas geometrías que podemos encontrar con frecuencia en muchas de sus obras. Por otro lado el conocimiento de las bóvedas tabicadas, un precedente de las estructuras laminares, también debió ser otro punto de partida para la formación de una sensibilidad por las superficies continuas, livianas y elegantes. Y si tomamos como último ejemplo la figura de Eladio Dieste, cuya obra es un exponente elocuente de síntesis entre estructura y forma, también encontramos en su formación antecedentes que jugaron un papel decisivo en la configuración de su sensibilidad estética, entre los que sin duda destacarían sus contactos frecuentes con artistas como Joaquín Torres García.

of calculation in those cases where his experience was seen to be at odds with the result of calculation.

When looking back at the education of Eduardo Torroja we may also find aspects that contributed to the development of his sense of form and visual culture, and principally in the figure of his father, an architect and professor of geometry, as well as the author of a treatise on ruled surfaces, these being geometries that may frequently be found in many of his works. In addition to which his knowledge of tiled vaults, a precedent of shell structures, may also have served as a starting point for the development of a sensitivity towards continuous, light and elegant structures. If we take as our final example the figure of Eladio Dieste, whose work is an eloquent exponent of the synthesis between structure and form, we may also find elements in his education that played a decisive role in moulding his aesthetic sensitivity, and particularly his frequent contacts with artists such as Joaquín Torres García.

4. Pertinencia e impertinencia de la estética en la ingeniería.

Así pues, la estética en el ámbito de la ingeniería, ¿es algo añadido y prescindible que importuna y se hace impertinente por su insistencia, o es algo substancial a la obra de ingeniería en la medida en que ésta no puede existir sin forma? La respuesta dependerá de si en el concepto de estética de la ingeniería que estamos empleando incluimos o no las cosas que los ingenieros consideran importantes, y por otro lado también de la capacidad del ingeniero de integrar en igualdad de condiciones los aspectos no estrictamente técnicos que se suelen considerar secundarios⁽¹⁴⁾. Planteamos pues el concepto de estética que surge, como consecuencia de una visión unitaria y global de la obra, de la síntesis de todos los aspectos que inciden en su forma, desde los primeros momentos de la concepción de la obra: funcionales, ambientales, estructurales, constructivos, económicos, geométricos, visuales, etc. Cuando hablamos de estética hablamos de la necesidad de reconocer las razones de la forma de una obra, y por lo tanto de todos los aspectos que han incidido en ella, y así el valor estético de ésta será tanto mayor cuanto mayor riqueza de significados asuma, cuantas más variables o aspectos queden integrados en la forma final de la obra. Es una necesidad que cada vez más va demandando la sociedad a la obra de ingeniería, y que hace por lo tanto cada vez más necesario adiestrar a los estudiantes de ingeniería en ese proceso de diseño y concepción de obras, de síntesis e integración de condicionantes muy dispares, que a menudo entran en conflicto entre sí.

En estos momentos se están gestando y debatiendo los planes de estudio para los nuevos títulos de grado y máster en las escuelas de ingeniería de caminos de España, con gran recorte de créditos en muchas materias y posible desaparición de otras. Es una ocasión para demostrar la consideración que realmente se tiene hacia la estética en la ingeniería: si es tan sólo un lujo prescindible que sólo nos podemos permitir en tiempos de vacas gordas o si realmente es una carencia importante en la formación de los ingenieros que ahora tenemos la oportunidad de cubrir. Cuando escasean los créditos y hay que asignarlos a materias es el momento de la prueba que nos dirá cuál es el concepto de la estética que rige en el campo de la ingeniería, si es materia pertinente o impertinente, si todavía predomina el

4. Pertinence and impertinence of aesthetics in engineering

We then have to ask whether aesthetics in the field of engineering is something added and superfluous which disconcerts and becomes impertinent by its very insistence, or whether this is something inherent to engineering work as this cannot exist without form. The answer will depend on whether the concept of aesthetics of engineering that we are employing includes those things the engineer considers important, and also on the capacity of the engineer to incorporate, in identical conditions, those aspects which are not strictly technical and which tend to be considered to be of secondary importance⁽¹⁴⁾. We may then consider a concept of aesthetics that arises as a result of unitary and global view of the work, of the synthesis of all aspects affecting its form from the very conception of the work: be they functional, environmental, structural, constructive, economic, geometric, visual, etc. When we speak of aesthetics we speak of the need to acknowledge the reasons behind the form of a work and, subsequently, all those aspects intervening in the same, and the aesthetic value of this increases in accordance with the wealth of meaning assumed by the same and by the number of variables or aspects incorporated in the final form of the work. This is a need that is increasingly being demanded in engineering work by the public at large and one that makes it increasingly necessary to train engineering students in this design process and the conception of work, and in the synthesis and integration of very different and frequently conflicting factors.

At the present time study plans are being considered and debated for the new graduate and master degree courses at civil engineering colleges in Spain, with large cuts in credits in many subjects and the possible disappearance of others. This is an occasion to demonstrate the consideration in which aesthetics should be held in engineering: and whether it is just an irrelevant luxury that can only be permitted in times of prosperity or whether this is truly an important shortcoming in the education of engineers which we now have the chance to make good. When credits are down and it is necessary to assign these to subjects this will then be the time to discover what is the overriding concept of aesthetics held in the field of engineering, whether the subject is pertinent or impertinent, whether the 19th century concept of aesthetics as an

concepto de la estética de la ingeniería del siglo XIX, el del añadido que no es sustancial a la obra de ingeniería, o si hemos asumido ya el concepto que se desarrolló a lo largo del siglo XX de la mano de los pioneros de la ingeniería más innovadora, y que nuestra sociedad del siglo XXI cada vez más demanda. Las comisiones encargadas de la elaboración de los planes de estudios de Ingeniería civil tienen la palabra. ♦

afterthought or optional extra still prevails, or whether, instead, we have already taken on board a concept that has been developed throughout the twentieth century at the hands of pioneers of the most innovative engineering, and that the 21st century society so demands. The commissions entrusted with the preparation of the civil engineering study plans now have their turn to speak. ♦

Referencias:

- (1) A modo de ejemplos ilustrativos de esta consideración de la obra de ingeniería podríamos mencionar las siguientes referencias:
CASTRO, S. (introd.): *Ingeniería española del siglo XX*. Dirección General de Bellas Artes. Ministerio de Educación y Ciencia. Madrid, 1971.
DREXLER, A. (introd.): *Twentieth century engineering*. Museum of Modern Art. New York, 1964.
EDITORIAL: *La ingeniería como obra de arte*, en R.O.P. n.º 3.497. Marzo 2009. p. 5.
MANTEROLA, J.; AGUILÓ, M.: *Saber ver la ingeniería*, en R.O.P. n.º 3.497. Marzo 2009. pp. 7-28.
PICON, A. (dir.): *L'Art de l'Ingénieur*. Centre Georges Pompidou. París, 1997.
- (2) Cabe mencionar a este respecto las jornadas que bajo el título de "Links entre las artes. Afinidades entre arquitectura, ingeniería, artes plásticas, diseño y urbanismo" se celebraron en la Universidad Politécnica de Valencia los días 10 y 11 de Noviembre de 2008. Fueron reseñadas en R.O.P. n.º 3.495. Enero 2009. p. 55.
- (3) Véase TIMOSHENKO, S. P.: *History of Strength of Materials*. Dover. New York, 1983 (1953). pp. 156-161.
- (4) Véase FERNÁNDEZ ORDÓÑEZ, J.A.: *El pensamiento estético de los ingenieros. Funcionalidad y belleza*. Real Academia de Bellas Artes de San Fernando. Madrid, 1990. pp. 31-35.
- (5) Véase DURAND, J.N.L.: *Compendio de lecciones de Arquitectura. Parte gráfica de los cursos de Arquitectura*. Pronaos. Madrid, 1980 (1819).
- (6) Véase FERNÁNDEZ ORDÓÑEZ, J.A.: *op. cit.* pp. 67-68.
- (7) Gyorgy Kepes, importante artista de origen húngaro, fue colaborador de Laszlo Moholy-Nagy, uno de los principales protagonistas de la Bauhaus, y destacado pionero en la vinculación del arte con la tecnología.
- (8) Para una información más detallada sobre este curso véase PREUSSER, R.: "Visual education for science and engineering students", en KEPES, G. (ed.): *Visual education*. George Braziller. New York, 1965. pp. 208-219.
- (9) Acerca de este curso véase SCHLAICH, J.: "Can conceptual design be taught?", en *The Structural Engineer*. Volume 70. No. 9. 5 May 1992.
- (10) Las actas de este congreso reflejan la repercusión que ha tenido este planteamiento: *Conceptual design of structures: proceedings of the international symposium, University of Stuttgart, October 7-11, 1996*. Institut für Konstruktion und Entwurf II. Stuttgart, 1996. Vol. 1 Methodology. Vol. 2 Case studies.
- (11) Véase el catálogo de la exposición, de la que fueron comisarios A. DOMINGO y C. LÁZARO: *Mamoru Kawaguchi, ingeniero de estructuras. Innovación y tradición en el proyecto de estructuras*. Editorial de la UPV. Valencia, 2009.
- (12) Véase BILLINGTON, D. P.: "Robert Maillart and new forms in reinforced concrete", en *The tower and the bridge: the new art of structural engineering*. Princeton University Press. Princeton, 1985. pp. 147-170.
- (13) Véase FREYSSINET, E.: "Mi vida: nacimiento del hormigón pretensado", en *Eugène Freyssinet: un ingeniero revolucionario*. Fundación Esteyco. Madrid, 2003 (1954). pp. 22-23.
- (14) Como muestra de la conciencia cada vez mayor de esta necesidad de integrar parámetros no estrictamente técnicos véase NÁRDIZ, C.: "A modo de epílogo. La reivindicación del lenguaje de la forma en la ingeniería civil", en *Ingeniería y territorio* n.º 81 *La forma en la ingeniería*. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Barcelona, 2008. p. 106.

References:

- (1) By way of illustration of this idea of a work of engineering we may mention the following references:
CASTRO, S. (introd.): *Ingeniería española del siglo XX*. Dirección General de Bellas Artes. Ministerio de Educación y Ciencia. Madrid, 1971.
DREXLER, A. (introd.): *Twentieth century engineering*. Museum of Modern Art. New York, 1964.
EDITORIAL: *La ingeniería como obra de arte*, en R.O.P. No. 3.497. March 2009. p. 5.
MANTEROLA, J.; AGUILÓ, M.: *Saber ver la ingeniería*, in R.O.P. No. 3.497. March 2009. pp. 7-28.
PICON, A. (dir.): *L'Art de l'Ingénieur*. Centre Georges Pompidou. París, 1997.
- (2) Reference can be made in this respect to the meetings "Links entre las artes. Afinidades entre arquitectura, ingeniería, artes plásticas, diseño y urbanismo" held at the Universidad Politécnica de Valencia on 10 and 11 November 2008. These were referred to in the R.O.P. No. 3.495. January 2009. p. 55.
- (3) See TIMOSHENKO, S. P.: *History of Strength of Materials*. Dover. New York, 1983 (1953). pp. 156-161.
- (4) See FERNÁNDEZ ORDÓÑEZ, J.A.: *El pensamiento estético de los ingenieros. Funcionalidad y belleza*. Real Academia de Bellas Artes de San Fernando. Madrid, 1990. pp. 31-35.
- (5) See DURAND, J.N.L.: *Compendio de lecciones de Arquitectura. Parte gráfica de los cursos de Arquitectura*. Pronaos. Madrid, 1980 (1819).
- (6) See FERNÁNDEZ ORDÓÑEZ, J.A.: *op. cit.* pp. 67-68.
- (7) Gyorgy Kepes, was an important Hungarian artist and a collaborator of Laszlo Moholy-Nagy, one of the leading protagonists of the Bauhaus movement and a pioneer in the association between art and technology.
- (8) For more detailed information about this course, see PREUSSER, R.: "Visual education for science and engineering students", en KEPES, G. (ed.): *Visual education*. George Braziller. New York, 1965. pp. 208-219.
- (9) See SCHLAICH, J.: "Can conceptual design be taught?", in *The Structural Engineer*. Volume 70. No. 9. 5 May 1992.
- (10) The proceedings of this congress reflect the repercussions of this perspective: *Conceptual design of structures: proceedings of the international symposium, University of Stuttgart, October 7-11, 1996*. Institut für Konstruktion und Entwurf II. Stuttgart, 1996. Vol. 1 Methodology. Vol. 2 Case studies.
- (11) See the catalogue for this exhibition, commissioned by A. DOMINGO and C. LÁZARO: *Mamoru Kawaguchi, ingeniero de estructuras. Innovación y tradición en el proyecto de estructuras*. Editorial de la UPV. Valencia, 2009.
- (12) See BILLINGTON, D. P.: "Robert Maillart and new forms in reinforced concrete", in *The tower and the bridge: the new art of structural engineering*. Princeton University Press. Princeton, 1985. pp. 147-170.
- (13) See FREYSSINET, E.: "Mi vida: nacimiento del hormigón pretensado", en *Eugène Freyssinet: un ingeniero revolucionario*. Fundación Esteyco. Madrid, 2003 (1954). pp. 22-23.
- (14) By way of example of the ever increasing awareness of the need to incorporate parameters that are not strictly technical, see NÁRDIZ, C.: "A modo de epílogo. La reivindicación del lenguaje de la forma en la ingeniería civil", en *Ingeniería y territorio* n.º 81 *La forma en la ingeniería*. Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos. Barcelona, 2008. p. 106.