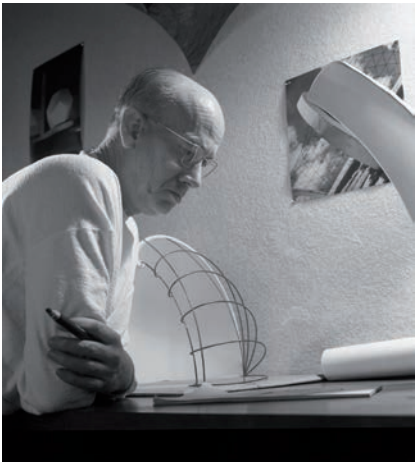
MUSEU
EDUARDO TORROJA



«Antes e acima de qualquer cálculo está a ideia, modeladora do material em forma resistente, para cumprir a sua missão.

A essa ideia está dedicado este livro.»

Eduardo Torroja, 1957
Razón y Ser de los Tipos Estructurales

FUNDAÇÃO EDUARDO TORROJA
Edição e design: Pepa Cassinello

Ilustração: «Uma Ideia em Movimento» Carmen Pinart
Logótipo Museu: «Curva em Equilíbrio» Cira Ascanio Esma
Ilustrações Museu: Enrique Ramírez
Paginação: Paula Giner (coordenadora), David Mencias e Enrique Ramírez
© textos respetivos autores
© imagens, arquivos do CEDEX, Instituto Eduardo Torroja e dos respetivos autores

ISBN: 978-84-941820-7-5
Depósito Legal n.°: M-30472-2017
Impressão: DAYTON S.A. 2016 Madrid, Espanha

MUSEU
EDUARDO TORROJA

Uma Ideia em Movimento
Carmen Pinart 2016

ÍNDICE

Apresentação
José Antonio Torroja Cavanillas
Presidente Fundação Eduardo Torroja
..... p. 7

Patronato Fundação Eduardo Torroja
..... p. 8

Projeto Museístico
Pepa Cassinello
Comissária
Diretora-gerente
Fundação Eduardo Torroja
..... p. 9

Localização e Destino
..... p. 11
Organização Espacial e Linguagem Expositiva
..... p. 12
Acervo Museológico
..... p. 14

SALA 1 - S1
..... p. 15
Eduardo Torroja ..... p. 17
Fundação da ponte de Sancti Petri ..... p. 20
Cidade Universitária ..... p. 22
Viaduto Quince Ojos ..... p. 24
Viaduto del Aire ..... p. 26
Hipódromo da Zarzuela ..... p. 28
Restauro do Hipódromo da Zarzuela ..... p. 32

SALA 2 - S2

..... p. 35

Aqueduto de Tempul ..... p. 36
Mercado de Algeciras ..... p. 38
Frontón di Recoletos ..... p. 41
Aqueduto de Alloz ..... p. 44
Ponte de Tordera ..... p. 48
Ponte del Pedrido ..... p. 50
Viaduto Martín Gil – Arco do Esla ..... p. 52
Hangares ..... p. 54
Campo de futebol de Les Corts ..... p. 57
Capela Aberta Sancti Spirit ..... p. 60
Igreja de Pont de Suert ..... p. 64
Depósito de Fedala ..... p. 66
Barragem de Canelles ..... p. 68

SALA 3 - S3

..... p. 71

Instituto Eduardo Torroja ..... p. 72
Elementos singulares do Instituto ..... p. 76
Associação Internacional de Estruturas Laminares ..... p. 86
Costela Laminar. Monumento ao betão e ao aço ..... p. 90

Créditos

..... p. 94

Agradecimentos

..... p. 95

Uma das finalidades da Fundação Eduardo Torroja é a identificação, o estudo, a preservação e a difusão da documentação existente sobre as várias facetas da poliédrica atividade de Eduardo Torroja, autor, juntamente com os arquitetos C. Arniches e M. Domínguez, do projeto deste Hipódromo da Zarzuela que nos acolhe e referência internacional da engenharia estrutural da primeira metade do século XX. Neste sentido, a Fundação foi sempre do parecer que seria de grande interesse dispor de um espaço adequado onde expor, quer para o estudo de especialistas quer para o do público em geral, o mais destacado desta atividade. Por outras palavras, dispor de um local onde instalar o Museu Eduardo Torroja.

E, atualmente, este museu é uma realidade, graças ao apoio e patrocínio de várias instituições e empresas: em primeiro lugar, graças à própria empresa do Hipódromo da Zarzuela, cuja presidente, Faina Zurita, lutou por superar o grande número de obstáculos que foram aparecendo e a cujo esforço e fé no projeto do Museu devemos o facto de que se tenha tornado realidade; à Direção-Geral de Arquitetura e ao CEDEX do Ministério das Obras Públicas, à Fundação ACS e à Fundação Rafael del Pino. Mas também graças à colaboração da Universidade Politécnica de Madrid, das Escolas Técnicas Superiores de Arquitetura e de Engenheiros Civis, ao Instituto de Ciências da Construção Eduardo Torroja (CSIC) e à Fundação Juanelo Turriano.

O Museu contém uma parte importante da atividade de Eduardo Torroja, a qual dificilmente poderia abranger uma variedade maior de atividades: começou por trabalhar como engenheiro construtor numa empresa de empreitadas. Poucos anos depois abriu o seu próprio escritório de projetos, onde levou a cabo um trabalho como projetista que lhe valeu, já em 1936, um enorme reconhecimento internacional, e, desde 1934, dedicou os seus esforços à investigação a partir do atual Instituto de Ciências da Construção Eduardo Torroja. Também levou a cabo um trabalho intenso como docente na Escola Especial de Engenharia Civil, onde chegou a dar aulas em três cursos.

O Museu expõe uma parte significativa do trabalho de Eduardo Torroja em forma de fotografias, documentos e maquetes de obras. Este material corresponde à seleção que o próprio Torroja fez para o seu livro *Las Estructuras de Eduardo Torroja* (1958) numa tentativa de transmitir aos visitantes a mesma mensagem:

«[...] só se mencionam aqui algumas das minhas obras, mas penso que aquelas que se incluíram exemplificam o que perseguia, e o que finalmente consegui.»
Eduardo Torroja, 1958

Esperamos que, tal como o seu livro, este museu seja capaz de divulgar a sua obra, a sua maneira de pensar e, ao fim e ao cabo, de manter vivo o conhecimento do seu legado.

José Antonio Torroja Cavanillas
Presidente Fundação Eduardo Torroja

FUNDAÇÃO EDUARDO TORROJA

Patronato

Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos (CICCP)

Consejo Superior de Colegios de Arquitectos de España (CSCAE)

Confederación Nacional de la Construcción (CNC)

Agrupación de Fabricantes de Cemento de España (OFICEMEN)

Asociación Española de Fabricantes de Hormigón Preparado (ANEFHOP)

Asociación de Miembros del Instituto Eduardo Torroja (AMIET)

Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC)

Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja (IETcc)

Fundación Caja Caminos

Projeto Museístico

Pepa Cassinello
Comissária
Diretora-gerente
Fundação Eduardo Torroja

MUSEU
EDUARDO TORROJA

Comissária

Pepa Cassinello
Arquiteta/Diretora-Gerente Fundação Eduardo Torroja

Assessores

José Antonio Torroja
Presidente Fundação Eduardo Torroja

Rafael Fernández Sánchez
Secretário Fundação Eduardo Torroja

José Calavera
Presidente honorário do INTEMAC

Restauração
do Hipódromo da Zarzuela
e adequação da sala do Museu
Junquera Arquitectos

Localização e Destino

O Museu Eduardo Torroja situa-se debaixo da tribuna norte do edifício do Hipódromo da Zarzuela de Madrid, uma das mais emblemáticas obras de Eduardo Torroja, marco internacional da história do desenvolvimento das estruturas laminares da Arquitetura Moderna. Uma localização privilegiada onde o conteúdo e o continente têm ambos o mesmo autor: Eduardo Torroja.

Fig. 1. Hipódromo da Zarzuela, Madrid, 1941

Com o objetivo de manter ativo o Museu e de criar sinergias com as atividades plurais do Hipódromo da Zarzuela, o Museu não só tem um grande espaço onde se expõe uma parte representativa do legado de Eduardo Torroja, mas também uma sala de exposições temporárias em que se exibirão obras inovadoras da vanguarda atual e futura da engenharia e da arquitetura espanholas, assim como outra sala dedicada à história das corridas de cavalos no Hipódromo da Zarzuela, que em 2016 cumpre 75 anos desde a sua abertura, em 1941.

Por outro lado, dada a variedade de público que assiste às atividades realizadas no Hipódromo da Zarzuela, o Museu foi criado com a intenção de atrair não só os profissionais da arquitetura e da engenharia, ou ainda os amantes e especialistas hípicos, mas também as crianças e jovens que os acompanham. O Museu conta também com uma pequena sala de projeções audiovisuais para abordar os três temas seguintes: 1) Eduardo Torroja, 2) a inovação da arquitetura e a engenharia de uma vanguarda em constante mutação, e 3) o mundo

das corridas de cavalos. Com esta diversidade de usos e as suas inter-relações pretende-se criar um modelo de Museu ativo e ao serviço da sociedade, também ela plural e em permanente transformação.

Organização Espacial e Linguagem Expositiva

A marcada linearidade do espaço arquitetónico do museu impõe um trajeto linear que favorece a desejável sequência contínua dos diferentes usos previstos. Com o objetivo de transmitir a ideia do Museu como um espaço único e, apesar disso, capaz de diferenciar a sua pluralidade de usos, as salas foram concebidas de forma aberta utilizando painéis transversais que tapam parcialmente a vista do comprimento total do Museu e concentram a atenção no tema específico de cada sala.

O espaço do museu encontra-se, assim, definido por uma grande caixa longitudinal de 55 m de comprimento, 5,5 m de largura e 2,80 m de altura, cujos teto e parede em frente aos acessos são pretos, ao passo que o pavimento e a parede longitudinal arcada são cinzentos. Como marcos no trajeto do Museu, os painéis transversais, de 2,20 m de altura, identificam as diferentes salas e usos e adquirem as cores da Modernidade coetânea com a obra de Eduardo Torroja: vermelho, cinzento, amarelo, **azul** e **preto**. Desta forma, a geometria e a cor adotam a mesma linguagem expositiva que, de certa forma, evoca as famosas pinturas de Mondrian. Linguagem que adotam também as bases das maquetes da obra de Eduardo Torroja, assim como os cúbicos pufes de tecido que invadem o Museu e que, com diferentes tamanhos e cores, servem de assento para os visitantes, tanto adultos como crianças.

Fig. 2. Esquema espacial do Museu

A trajetória do Museu começa no espaço dedicado à exposição permanente da obra de Eduardo Torroja. Esta exposição foi dividida em três salas comunicantes: S1, S2 e S3. Depois encontramos a sala de exposições temporais S4, que serve de eixo de união entre a exposição permanente da obra de Eduardo Torroja e aquela destinada à história das corridas de cavalos, **S5**, e finalmente, a sala de projeções audiovisuais, **S6**.

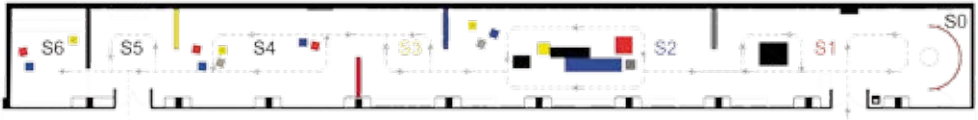
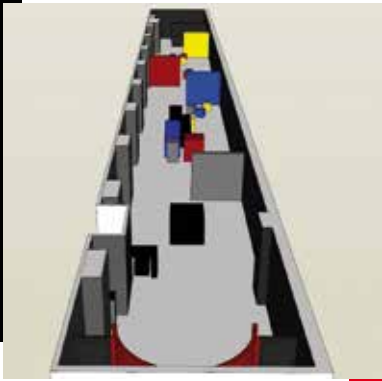


Fig. 3. Planta geral do Museu

Fig. 4. Esquema espacial do Museo



Acervo museológico

Exposição permanente / Eduardo Torroja

O poliédrico e extenso legado de Eduardo Torroja não cabe no espaço arquitetónico do Museu, mas também não faria sentido expô-lo na sua esmagadora totalidade física, já que a maior parte dos seus arquivos (projetos, textos, ensaios, etc.) estão ao alcance de todos nos fundos documentais digitalizados pelo CEDEX, assim como no Instituto de Ciências da Construção Eduardo Torroja (CSIC).

A razão de ser do Museu é dispor de um lugar permanente onde se transmitam, de forma concisa e clara, as contribuições de Eduardo Torroja mais importantes para o progresso do setor da construção, da arquitetura e da engenharia civil, realçando os motivos pelos quais passou a ser considerado uma referência internacional e atemporal para profissionais e estudantes.

Capturar o olhar do visitante através de razões transformadas em imagens e em palavras escassas e concisas. É esse o objetivo do projeto museístico. Para esse fim foi efetuada uma seleção de obras construídas, investigações, publicações, etc., escolhidas, a maior parte delas, pelo próprio Eduardo Torroja para os seus famosos livros *Razón y ser de los tipos estructurales* (1957) e *Las estructuras de Eduardo Torroja* (1999), este último publicado pela primeira vez em 1958 em Nova Iorque com o título *The Structures of Eduardo Torroja.* Também as palavras que acompanham os visitantes nas explicações das imagens foram extraídas dos textos de Eduardo Torroja. É, portanto, o próprio autor da obra quem se dirige aos visitantes.

«Só se mencionam aqui algumas das minhas obras, mas penso que aquelas que se incluíram exemplificam o que perseguia, e o que finalmente consegui.»

Eduardo Torroja, 1958

As obras selecionadas estão expostas em três salas consecutivas identificadas como S1, S2 e S3. A ordem da mostra respeita significativamente a cronologia, o tipo estrutural e o uso, já que a cenografia museística elude, por vezes, os marcos temporais e locais para salientar alguns marcos que, como o Hipódromo da Zarzuela, ocupam espaços expositivos maiores.

SALA – S1

Uma gigantesca imagem de Eduardo Torroja, situada em frente à porta de acesso, chama de imediato a atenção dos visitantes. Está colocada sobre a única peça que sobressai da parede de 55 m de comprimento, preta, que delimita um dos lados do Museu.

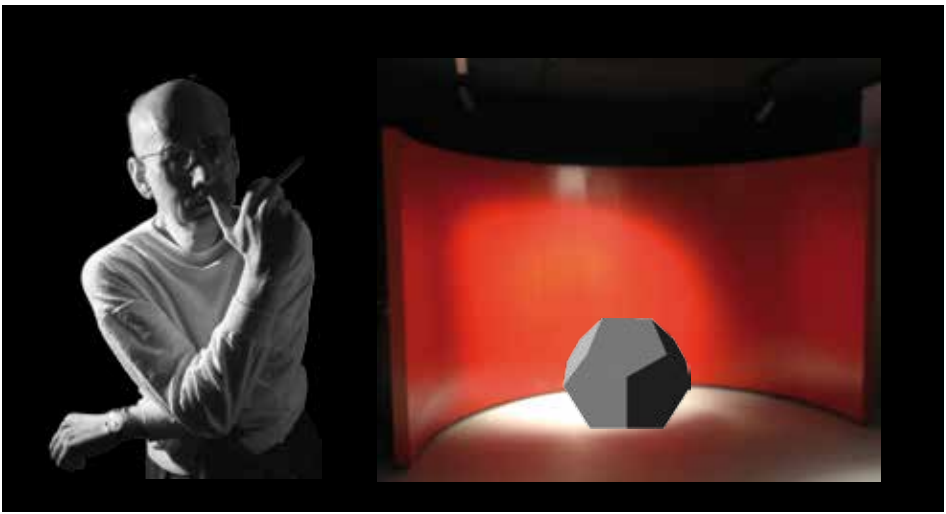


Fig. 5. Eduardo Torroja. Muro cilíndrico e Dodecaedro

A cenografia desta primeira sala está também presidida por grandes figuras geométricas situadas à direita da porta de acesso, as quais fazem referência à importância e à variedade de formas geométricas puras utilizadas por Eduardo Torroja na definição da sua obra. Trata-se de um enorme muro curvo pintado de vermelho. Um fragmento cilíndrico em frente ao qual aparece um dodecaedro de 1 m de altura, forma geométrica pura que Eduardo Torroja utilizou para a construção do silo de carvão de 8 m de altura do Instituto Técnico da Construção e do Cimento (1949-1953). Peça que, como se de uma gigantesca escultura se tratasse, acabaria

por se transformar num dos símbolos do instituto que tem o seu nome, o Instituto de Ciências da Construção Eduardo Torroja, pertencente ao Conselho Superior de Investigações Científicas e símbolo também da Fundação Eduardo Torroja.
Esta sala destina-se a introduzir a figura de Eduardo Torroja através de uma nota biográfica de uma lista das suas obras mais assinaláveis. Este espaço reúne parte das suas primeiras obras, com destaque especial para o Hipódromo da Zarzuela, que não só é umas das suas obras mais emblemáticas a nível internacional, mas também acolhe o Museu no seu interior.

Temas e Obras Expostas

- **Eduardo Torroja** (1899-1961) Breve biografia que inclui uma vitrina com medalhas e méritos recebidos ao longo da sua vida.
- **1923-1927** Primeiras obras com a empresa Hidrocivil: fundação da ponte de Sancti Petri.
- **1930-1935** Cidade Universitária, Viaduto Quince Ojos, Viaduto del Aire, F. Ciências, etc.
- **1934** Hipódromo da Zarzuela / 2004 Restauração Junquera Arquitectos / ACS

Fig. 6. Eduardo Torroja
Brasão familiar

Nota Biográfica

Eduardo Torroja Miret (1899-1961) é uma das referências internacionais mais destacadas no âmbito do progresso alcançado pela construção civil e a arquitetura durante as décadas de ouro da Modernidade. Teve um papel de destaque na revolução científica e técnica que abriu o caminho ao desenvolvimento do betão armado e pré-esforçado durante a primeira metade do século XX. Contribuiu de maneira decisiva para a evolução da indústria da construção, dos tipos estruturais e da nova estética defendida pelo Modernismo. A sua fama internacional deve-se não só ao espírito inovador da sua obra construída, mas também à sua poliédrica atividade profissional: projetista, cientista, investigador, gestor e docente.

Nasceu em Madrid no dia 27 de agosto de **1899**. Graduou-se na Escola Técnica Superior de Engenheiros de Caminhos, Canais e Portos de Madrid em 1923.

1923-1927 Trabalhou na empresa Hidrocivil, dirigida por José Eugenio Ribera, projetando as suas primeiras inovações em betão armado.

1927 Abriu o seu escritório privado de projetos. Exerceu como engenheiro projetista no gabinete técnico da Cidade Universitária de Madrid.

1930 Fundou a empresa Investigaciones de la Construcción S. A., ICON, a qual, sob a sua direção, se especializou no ensaio de modelos como método de análise do comportamento estrutural. Este facto permitiu-lhe embarcar na realização de importantes estruturas laminares numa época em que não existia nenhum método fiável de cálculo para esse tipo de estruturas. Os seus modelos da cobertura do Mercado de Algeciras e do Frontón de Recoletos, ambos realizados em microbetão à escala de 1:10, foram objeto de um grande reconhecimento.

1934 Fundou o Instituto Técnico da Construção e da Edificação (ITCE) com um pequeno grupo de engenheiros e arquitetos: José M.ª Aguirre Gonzalo, Alfonso Peña Boeuf, Modesto López Otero, Manuel Sánchez Arcas, Gaspar Blein Zaragoza e José Ángel Petrirena. O ITCE foi a primeira instituição do setor privado criada «livremente» em Espanha destinada à investigação, promoção e divulgação de todos os âmbitos relacionados com a construção para fomentar o progresso. Anos mais tarde, em 1939, integrou-se no recém-criado Conselho Superior de Investigações Científicas (CSIC).

1939 Foi nomeado professor da cadeira de Cálculo de Estruturas. A partir desse momento, a sua dedicação à docência universitária acompanha-lo-á até à sua morte. Ao longo dos anos teve a oportunidade de dar aulas de Resistência de materiais e elasticidade, Fundamentos de cálculo e execução de obras de betão armado e pré-esforçado, Cálculo de estruturas e Tipologia estrutural.

1941 Foi nomeado diretor do Laboratório Central de Ensaios de Materiais de Construção.

1944 Leu o seu discurso de admissão na Real Academia de Ciências Exatas, Físicas e Naturais.

1945 Foi nomeado presidente da recém-criada Réunion Internationale des Laboratoires d´Essais de Matériaux (RILEM). Participou ativamente na criação do Comité Européen du Beton (CEB), no qual, apesar do nome do comité, se integraram os Estados Unidos e a Rússia, influenciando decisivamente a evolução das normas técnicas europeias das construções de betão armado. Foi membro ativo da Fédération Internationale de la Précontrainte (FIP), fundada por Freyssinet, a quem substitui como presidente em 1958. Nesse contexto, promoveu a criação da Comissão Conjunta FIP-CEB, com o objetivo de uniformizar as normas do betão armado e do pré-esforçado.

1957 Publicou o seu famoso livro: *Razón y Ser de los tipos estructurales*, que foi traduzido para várias línguas: inglês, alemão, italiano e japonês.

1959 Cofundador e primeiro presidente da International Association for Shell Structures (IASS). Publicou nos Estados Unidos o seu livro *The Structures of Eduardo Torroja*, que foi traduzido para espanhol em 1999.

Eduardo Torroja morreu em 15 de junho de **1961** no seu escritório do Instituto que hoje ostenta o seu nome, não sem antes se dirigir aos seus colaboradores numa carta afetuosa da qual se deduz que sabia que a sua vida se aproximava do fim.

O importante trabalho realizado por Eduardo Torroja Miret foi reconhecido através de vários prémios: Doutor Honoris Causa pelo Instituto Federal de Tecnologia de Zurique, pela Universidade de Toulouse, pela Universidade de Buenos Aires, pela Universidade de Louvain e pela Universidade Católica do Chile. Foi Académico Correspondente da Real Academia de Ciências e Artes de Barcelona e da Academia de Ciências, Belas Letras e Nobres Artes de Córdova. Foi nomeado Cavaleiro da Grande Cruz de Alfonso X o Sábio e Cavaleiro da Grande Cruz de Mérito Civil. Recebeu o título póstumo de Marquês de Torroja.

Pepa Cassinello
Comissária

Fig. 7. Medalha de Mérito Civil

Fundação da ponte de Sancti Petri

Projeto da ponte: Eduardo Torroja Miret, José Eugenio Ribera Dutaste
Empresa de construção: Compañía de Construcciones Hidráulicas y Civiles HIDROCIVIL
Localização: Sancti Petri, Cádis
Data: 1926
Comprimento da ponte: 144 m; Forma resistente da fundação: hiperboloide de revolução
Diâmetro superior: 7,00 m; **Diâmetro inferior**: 7,60 m; **Altura**: 8,90 m

Um dos primeiros trabalhos de Eduardo Torroja foram os caixões pneumáticos para a fundação da ponte de Sancti Petri.

Eduardo Torroja modificou a forma resistente convencional deste tipo de fundações, convertendo-as em estruturas laminares leves de dupla curvatura para otimizar o seu funcionamento estrutural, a colocação da carga, a segurança dos trabalhadores e os custos. O caixão laminar com forma de hiperboloide de revolução foi concebido com uma parede dupla de tijolo armado face à vista com apenas 7 cm de espessura.

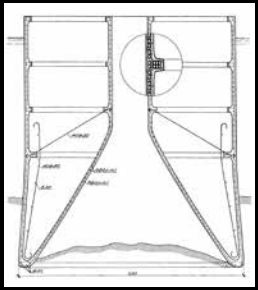
«Para obter uma estrutura leve de pouco calado, optou-se por um formato circular de parede dupla em forma de hiperboloide de revolução. Esta disposição estrutural tem vantagens significativas. A inclinação suave da parede exterior diminui a fricção provocada ao submergir o caixão. Por outro lado, a forma da parede interna evita que o caixão se afunde rápido demais em solos lamacentos e que, consequentemente, a altura disponível na zona de trabalho, entre o solo e o teto, seja demasiado pequena. Os caixões com tetos horizontais convencionais têm muitas vezes esse problema.

As paredes estreitas de secção transversal circular são as mais adequadas para suportar a pressão hidráulica.»

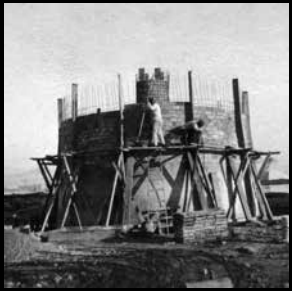
Eduardo Torroja, 1958

1926
Fundação da ponte de Sancti Petri, Cádis

Construção



Secção

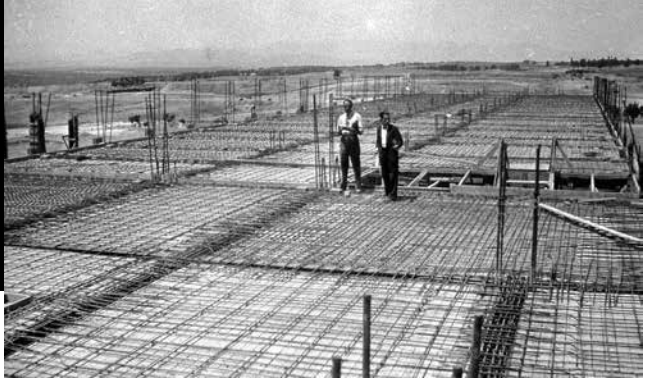


Cidade Universitária

No ano de 1927, e a proposta de José Eugenio Ribera, foi convidado a integrar, como engenheiro, o gabinete técnico que se formou para a construção da Cidade Universitária de Madrid sob a direção de Modesto López Otero, colaborando com os arquitetos Agustín Aguirre, Pascual Bravo, Miguel de los Santos, Manuel Sánchez Arcas e Luís Lacasa.

A sua contribuição não se limitou aos projetos e obras de engenharia, mas também interveio magistralmente na maioria dos edifícios arquitetónicos, assimilando desde o princípio a nova estética da arquitetura moderna e integrando-a nas suas inovadoras e originais conceções estruturais. Veja-se, neste sentido, os três viadutos construídos em 1933 na Cidade Universitária: o dos Quince Ojos, o do Aire e o dos Deportes. Ou, ainda no mesmo ano, o muro de contenção do arroio de Cantarranas, a central térmica e a estação de elétricos do Estadio. Em 1934 colaborou na planificação das estruturas das faculdades de Ciências, Medicina e Farmácia, e no ano seguinte, em 1935, da residência de estudantes, da central térmica e do Hospital Clínico.

1934, Faculdade de Ciências
Cidade Universitária, Madrid



1935, Cidade Universitária, Madrid

Hospital Clínico
Arquiteto: Manuel Sánchez Arcas
Engenheiro: Eduardo Torroja Miret

Lajes dos terraços de betão armado em avançamento

Estrutura claraboia

Viaduto Quince Ojos

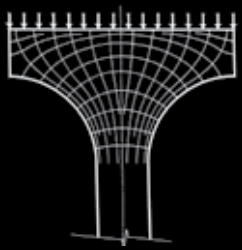
Engenheiro: Eduardo Torroja Miret
Arquiteto: Modesto López Otero
Promotor: Junta da Cidade Universitária (1927-1936)
Empresa de construção: Agroman S.A.
Datas: 1929-1933
Localização: Madrid
Altura: 22 m
Comprimento: 84,70 m

O viaduto Quince Ojos, cujo nome inicial era «Viaduto de Alfonso XIII», está formado por uma sequência contínua de 15 grandes arcos com vãos de 7 m sobre pilares de secção quadrada de 1,70 m de lado. Com uma largura de 35 m, conta ainda com arcos transversais semelhantes aos que compõem a sua disposição longitudinal. Trata-se de um conjunto de unidades estruturais tridimensionais formadas, cada uma delas, por um suporte sobre o qual se apoiam 4 mênsulas de extradorso plano e intradorso em forma de meio arco. Uma maneira hábil e estética de incluir as juntas de dilatação.

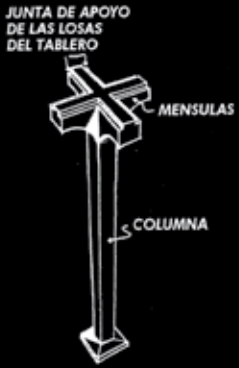
«Devido ao grande comprimento e à rigidez desta estrutura, foi necessário incluir juntas de dilatação em intervalos frequentes, evitando, contudo, que ficassem demasiado expostas para não prejudicarem a estética da obra. Assim, optou-se por situá-las precisamente nas pedras angulares, uma localização que se considerou a menos prejudicial e que transformou os arcos em mênsulas duplas.»

Eduardo Torroja, 1958

1929-1933
Viaduto Quince
Ojos, Cidade
Universitária, Madrid



Isostáticas



Viaduto del Aire

Engenheiro: Eduardo Torroja
Arquiteto: Modesto López Otero
Empresa de construção: Agroman S.A.
Data: 1933
Localização: Cidade Universitária, Madrid

O viaduto del Aire foi um dos projetos desenvolvidos por Eduardo Torroja durante a sua incorporação como engenheiro no departamento técnico da Cidade Universitária de Madrid. O nome da obra é uma alusão à sua elegância estrutural.

Trata-se de uma ponte em arco com vãos de 36 m e com um tabuleiro superior construído inteiramente em betão armado. O arco está formado por dois arcos gémeos sobre os quais se apoiam as colunas em que repousa o tabuleiro do viaduto. Com o objetivo de potenciar o efeito ótico do viaduto, em vez de distribuir as colunas de maneira constante, Eduardo Torroja optou por diminuir a distância entre elas à medida em que se aproximam da pedra angular.

«[...] constitui um claro exemplo das possibilidades técnicas e plásticas que o uso de elementos longitudinais de grande elegância, próprios de uma estética linear e geométrica, oferece. O cálculo de esforços do arco efetuou-se graficamente através do método da elipse de inércia.»

Eduardo Torroja, 1958

Hipódromo da Zarzuela

Engenheiro: Eduardo Torroja
Arquitetos: Carlos Arniches Moltó, Martín Domínguez Esteban
Empresa de construção: AGROMAN S.A.
Datas: 1934 (projeto); 1935 (início da obra); 1941 (inauguração)
Localização: Madrid
Cobertura laminar de betão armado e tribunas: Eduardo Torroja
Avançamento: 12,80 m **Espessura:** 5,00 cm – 14,50 cm

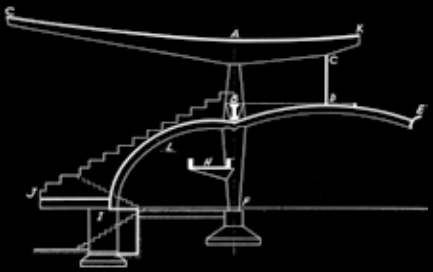
Em 1934, o gabinete técnico de Acessos e Periferia abriu um concurso para a realização do hipódromo da Zarzuela, o qual foi adjudicado ao grupo formado pelos arquitetos Carlos Arniches e Martín Domínguez e o engenheiro Eduardo Torroja. A construção começou em 1935, mas viu-se interrompida devido à Guerra Civil espanhola (1936-1139), e a obra só foi inaugurada em maio de 1941.

A nível internacional, a estrutura de betão armado das tribunas e a sua cobertura laminar dão forma a uma das obras mais emblemáticas de Eduardo Torroja. O Hipódromo da Zarzuela conta com três tribunas independentes: duas laterais de 60 m de comprimento e uma central de 30 m. Trata-se de um conjunto de formas resistentes de uma modernidade despojada que define, num só gesto, a totalidade do espaço arquitetónico das salas inferiores destinadas às apostas e as bancadas que sobre elas assentam. Cada tribuna está definida por pórticos transversais com uma separação de 5 m entre si sobre os quais se apoiam, a nível inferior, as abóbadas cilíndricas de intersecção (secção em forma de asas) que definem a cobertura das salas de apostas e que servem de apoio às bancadas exteriores das tribunas, e, a nível superior, uma cobertura laminar que conta com um avançamento de 12,80 m. O equilíbrio do audaz conjunto de formas resistentes é garantido por um tirante roscado de aço situado na parte posterior.

A sua inovadora e elegante cobertura laminar conta com uma espessura variável de apenas 5 cm na extremidade e 14,50 cm no apoio. Está formada por uma sequência contínua de setores laminares de curvatura dupla e geometria sensivelmente parecida à do hiperboloide. Uma vez que a sua forma resistente específica não permitia a aplicação dos sistemas de cálculo existentes naquela época, Eduardo Torroja realizou cálculos manuais aproximados. A verificação do comportamento estrutural da lâmina levou-se a cabo por meio de um ensaio experimental do modelo de um módulo construído em tamanho real pela empresa AGROMAN.

«Perguntam-me em inúmeras ocasiões como decidi o projeto do Hipódromo da Zarzuela... E então surge a pergunta: a invenção de uma forma especialmente adaptada à resolução de um problema concreto é estritamente um processo de imaginação, ou é o resultado de um raciocínio lógico baseado na forma técnica? Penso que não é nenhuma destas duas coisas, mas sim a mistura de ambas. A imaginação por si só não podia conceber um projeto assim sem o auxílio da razão, do mesmo modo que um processo dedutivo, avançando em etapas sucessivas de desenvolvimento, também não podia ter sido tão lógico e determinante ao ponto de conduzir inevitavelmente a ele.»

Eduardo Torroja, 1958



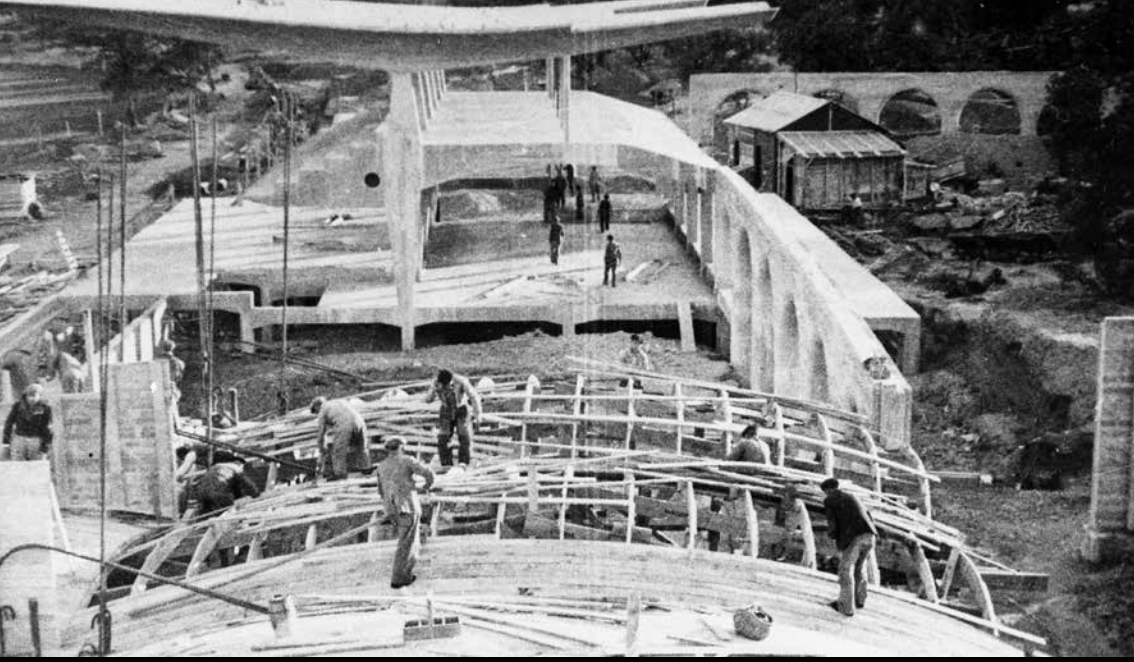
Secção transversal

Vista lateral das tribunas © S.V. Kaskel

1935, Hipódromo da Zarzuela

Construção

1934, Ensaio sobre modelo a escala real realizado pela empresa Agroman



Restauro do Hipódromo da Zarzuela

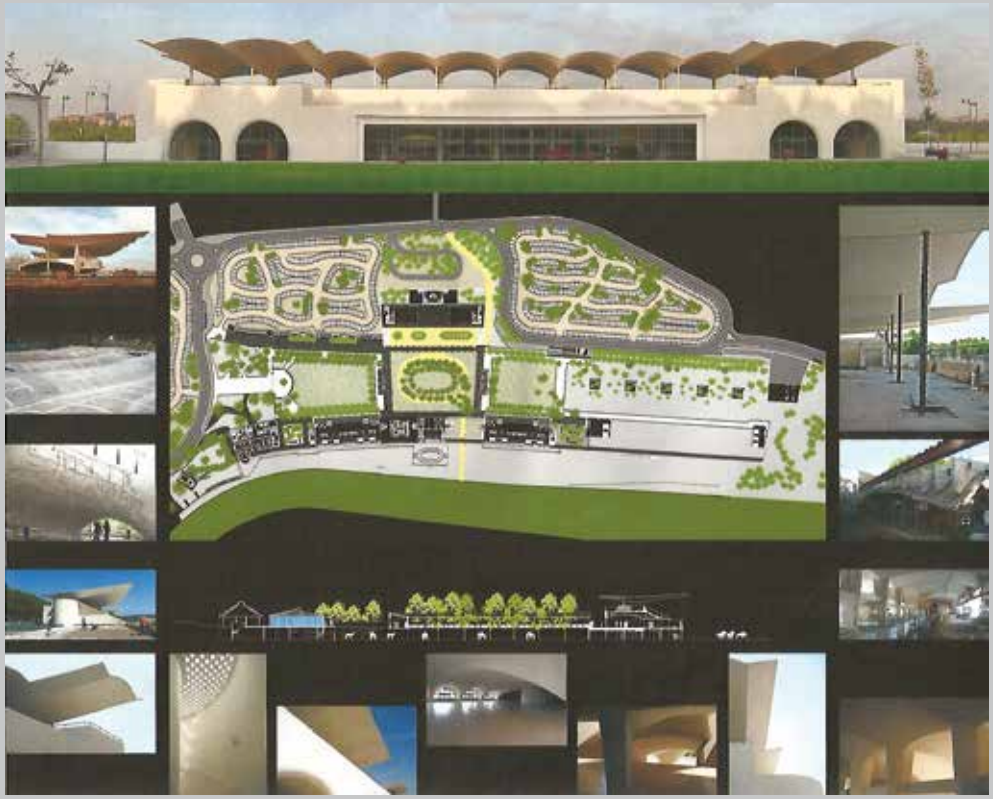
Arquiteto: Junquera Arquitectos - Jerónimo Junquera García del Diestro
Engenheiro: Leonardo Fernández Troyano (estruturas), Úrculo Ingenieros (instalações)
Empresa de construção: DRAGADOS S.A.
Entidades colaboradoras: Instituto de Ciências da Construção Eduardo Torroja
SIKA Espanha
Datas: 2004-2007 (projeto); 2008-2015 (obra)
Localização: Madrid

Em 2004, a Junquera Arquitectos ganhou o concurso para o restauro e a reabilitação do Hipódromo da Zarzuela, convocado pela sociedade Hipódromo de la Zarzuela S.A.

As obras começaram em 2008 com a restauração das coberturas das tribunas, danificadas pela passagem do tempo, pela água e pelas várias construções realizadas em etapas anteriores. Simultaneamente, levaram-se a cabo obras de prospeção construtiva no recinto. Eram obras de investigação para descobrir e analisar os valores e os sistemas de construção originais, desvirtuados e perdidos como resultado de ampliações e modificações realizadas no recinto. Isso trouxe à luz danos estruturais importantes que exigiram obras de consolidação e reparação da estrutura.

Completas as obras de reparação estrutural, deu-se início à restauração e reabilitação do conjunto arquitetónico com o objetivo de recuperar os valores essenciais do projeto de 1934 de Arniches, Domínguez e Torroja.

No projeto de restauração, a beleza do futuro Hipódromo baseou-se nos valores originais, potenciando-os e recuperando os que se tivessem perdido. Pretendia-se, assim, devolver à cidade o Hipódromo da Zarzuela com umas instalações ótimas para a realização das corridas e do desporto hípico, em equilíbrio com o uso e aproveitamento do monumento.



2004-2015 Restauro do Hipódromo da Zarzuela. Junquera Arquitectos

SALA – S2

Em 1927, Eduardo Torroja abriu em Madrid o seu próprio escritório de projetos, dando início a uma frutífera produção de obras inovadoras que impulsaram o progresso da construção civil e arquitetónica, seguindo sempre os cânones do recém-nascido Modernismo.

Foi, sem dúvida, a sua polifacética atividade como projetista, investigador, docente, empresário e gestor o que dotou Eduardo Torroja desse conhecimento poliédrico que, unido à sua particular sensibilidade criativa, lhe permitiu ser livre para transformar as suas ideias naquilo que posteriormente David Billington designaria como «arte estrutural».

«O meu objetivo sempre foi que os aspetos funcionais, estruturais e estéticos de um projeto formassem uma unidade integrada, quer em essência, quer em aparência.»

Eduardo Torroja, 1958

Com a mesma linguagem expositiva de todo o Museu, a segunda sala da exposição permanente de Eduardo Torroja está dedicada a uma seleção de obras realizadas entre 1927 e 1957, organizadas de maneira cronológica e tipológica, de acordo com os seus tipos estruturais e diferentes usos. As obras de engenharia civil, como sejam as barragens, os aquedutos ou os viadutos, situam-se na parede arcada cinzenta, onde também se encontram as vitrinas horizontais marcadas por espaços banhados por mais luz, ao passo que as obras arquitetónicas, como os mercados, os hangares, estádios, igrejas, etc., se encontram na parede longitudinal preta.

Ressaltando a decisão compositiva de transformar o Museu num espaço presidido pelas geometrias puras e as cores do Modernismo, no centro da sala encontra-se um colorido mostruário longitudinal de volumes que servem de suporte para várias maquetes (mercado de Algeciras, ponte de Tordera, aqueduto de Alloz, Frontón Recoletos, igreja de Pont de Suert, depósito de Fedala, clube Tachira, etc.) e definem o percurso pela sala.

Obras expostas: Aqueduto de Tempul (1927), Mercado de Algeciras (1935), Frontón Recoletos de Madrid (1936), Aqueduto de Alloz (1939), Ponte de Tordera (1940), Ponte del Pedrido (1940), Viaduto Martín Gil (1941), Hangares de Torrejón e Cuatro Vientos (1942-1945), Estádio de Les Corts, Barcelona (1943), Capela aberta do Sancti Spirit (1953), Igreja de Pont de Suert (1954), Depósito de Fedala (1956), Barragem de Canelles (1956).

Aqueduto de Tempul

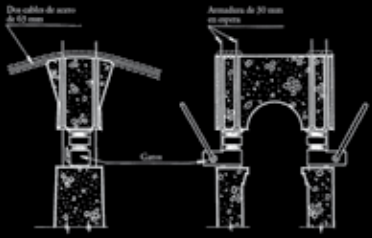
Engenheiros: Eduardo Torroja Miret e Francisco Ruiz Martínez
Empresa de construção: Compañía de Construcciones Hidráulicas y Civiles (HIDROCIVIL)
Data: 1925 (projeto)
Localização: Jerez de la Frontera, Cádis, Espanha

Eduardo Torroja foi pioneiro no uso do betão pré-esforçado. Este aqueduto é uma das primeiras obras de betão pré-esforçado construídas a nível mundial.

Está formado por 11 secções de vigas de betão armado com vãos de 20 m e uma secção central de tipo *cantilever* de 57 m. Foi construído com um engenhoso sistema de betão pré-esforçado. Eduardo Torroja decidiu alterar o projeto inicial, eliminando os dois pilares centrais situados no leito do rio para evitar possíveis problemas ao nível das fundações. Substituiu-os por uns tirantes que passam por cima dos pilares adjacentes, situados em ambas as margens do rio, e que estão ancorados nas extremidades das secções contíguas.

«Os tirantes, incluindo os maciços de ancoragem, deviam medir uns 50 m de comprimento. Em 1926 não existiam meios técnicos para o uso de betão pré-esforçado em tais comprimentos. Também não se tinha avançado suficientemente a nível de técnicas de soldagem para lhes confiar uma estrutura de tal magnitude. Decidi utilizar cabos entrançados de aço de alta resistência. Desta forma, os tirantes podiam ser fabricados facilmente numa única peça. A solução adotada consistiu em apoiá-los em cavaletes independentes sobre a cabeça dos pilares, deixando-os separados dos fustes. Desta forma, uma vez feita a betonagem das secções com os maciços de ancoragem dos cabos, as cabeças podiam ser elevadas por meio de macacos hidráulicos, e com esta elevação, os cabos seriam esticados até atingirem a tensão adequada para o trabalho.»

Eduardo Torroja, 1958



1925-1926
Aqueduto de Tempul, Jerez de la Frontera, Cádis, Espanha

Mercado de Algeciras

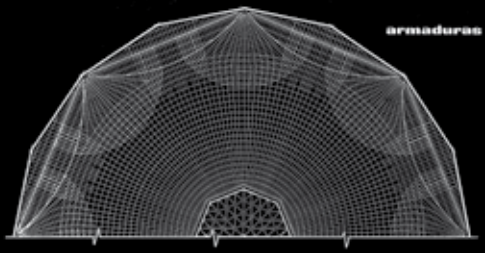
Engenheiro: Eduardo Torroja Miret
Arquiteto: Manuel Sánchez Arcas
Empresa de construção: Ricardo Barredo
Data: 1934-1935
Localização: Plaza de la Palma, Algeciras, Cádis, Espanha

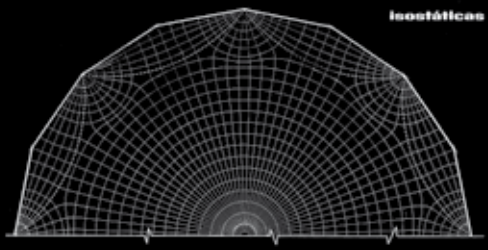
A cobertura do mercado de Algeciras foi a primeira grande cúpula laminar de betão construída em Espanha e a maior deste tipo construída em todo o mundo durante mais de 30 anos. Uma façanha sem precedentes em que Eduardo Torroja contribuiu com várias inovações para a incipiente história da «aventura laminar da arquitetura moderna». Com efeito, embora alguns anos antes já tivessem sido construídas algumas cúpulas laminares de grandes dimensões, como a do mercado da Basileia, projetada por Franz Dischinger, Eduardo Torroja contribuiu com uma nova forma resistente de grandes vãos, executada com uma espessura contínua sem nervuras à vista, assim como o engenhoso sistema de descofragem por pós-tensão do cimbre perimetral e uma clara imagem de modernidade.

A planta do Mercado é octogonal e mede 18,20 m de lado. A cobertura é uma cúpula laminar que ocupa um vão entre apoios de 47,76 m e está formada por uma calota esférica de 41,20 m de diâmetro e 8 pequenas abóbadas cilíndricas de eixo horizontal que, como se de palas se tratassem, definem o contorno da cúpula e descansam sobre os pilares. Os contornos arqueados destas lâminas cilíndricas transmitem os esforços da cobertura aos pilares, aumentando a rigidez do conjunto laminar. A lâmina é contínua, sem nervuras de canto, e tem uma espessura de 9 cm que alcança 50 cm nos apoios. A cúpula laminar abre caminho a uma claraboia octogonal (10 m, diagonal) situada no topo. Os painéis de vidro são suportados por triângulos pré-fabricados de betão armado.

«[...] o pilar suporta o componente vertical da força, enquanto o componente horizontal em sentido radial é contrabalançado por um cimbre octogonal periférico formado por 16 barras de aço de 30 mm. Este cimbre, ao estar em tração, dilata-se, ao passo que a lâmina, ao estar comprimida, tende a contrair-se. Decidiu-se, portanto, colocar tensores roscados nas barras que constituíam o cimbre. A ação dos tensores, que tende a encurtar as barras, pô-las em tração, o que provocou as respetivas reações radiais sobre a lâmina nas suas uniões com os suportes [...] a cúpula comprimida iniciou um leve levantamento, despegando-se do cimbre.»

Eduardo Torroja, 1958





1934-1935, Mercado de Algeciras

1934-1935, Mercado de Algeciras

Frontón Recoletos

Engenheiro: Eduardo Torroja Miret
Arquiteto: Secundino Zuazo Ugalde
Promotor: Nueva Empresa de Frontones S.A.
Empresa de construção: Huarte y Cia
Data: 1935
Localização: calle Villanueva, Madrid (desaparecida)

O Frontón Recoletos foi um dos edifícios mais marcantes do Modernismo de Madrid, resultado da admirável colaboração entre o engenheiro Eduardo Torroja e o arquiteto Secundino Zuazo.

A sua cobertura laminar de betão armado é uma das mais inovadoras e singulares de Eduardo Torroja. Lamentavelmente, sofreu graves danos durante os bombardeamentos da Guerra Civil e desabou em 1939. Tratava-se de uma cobertura laminar cilíndrica de geratrizes horizontais, cuja diretriz estava formada pela intersecção ortogonal de dois segmentos de circunferência de diferentes raios, sendo o maior de 12,20 m e o menor de 6,40 m (secção em forma de asas). Era uma viga laminada bilobada com 55 m de vão. A sua dimensão transversal era de 32,50 m e cobria, portanto, todo o espaço interior sem suportes intermédios. Tinha uma espessura contínua de apenas 8 cm, exceto na intersecção dos lóbulos, que era de 16 cm. A luz natural penetrava por duas claraboias longitudinais que estavam formadas por uma malha de triângulos equiláteros de 1,40 m de lado.

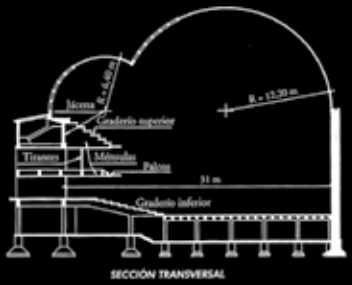
«Devido à complexidade dos cálculos e ao sempre presente risco de erros, ao trabalho teórico seguiu-se-lhe um ensaio experimental com um modelo a escala reduzida.»

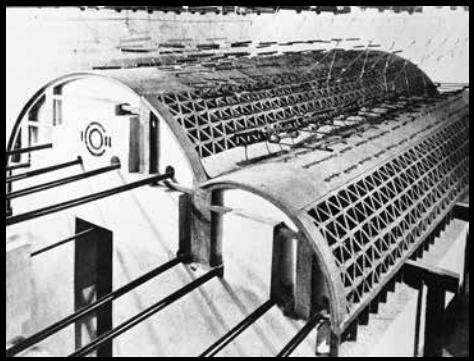
Eduardo Torroja, 1958

1935, Frontón de Recoletos, Madrid

1935-1936, Construção

Ensaio com modelo reduzido 1:10 Eduardo Torroja





Aqueduto de Alloz

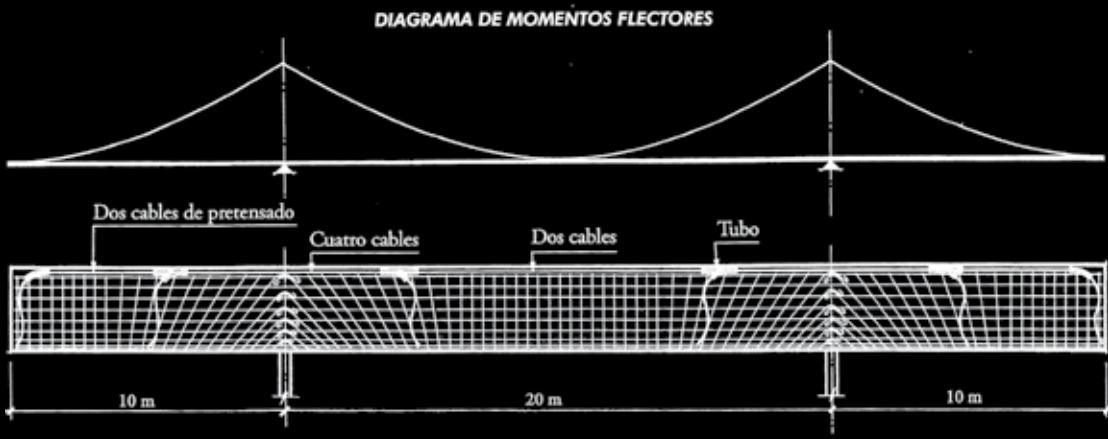
Engenheiro: Eduardo Torroja
Empresa de construção: Huarte y Cia
Data: 1939-1942
Localização: Caminho de Santiago (Município de Ciuraqui)
Comprimento do canal: 218 m; **Altura:** 2,75 m; **Espessura:** 15 cm

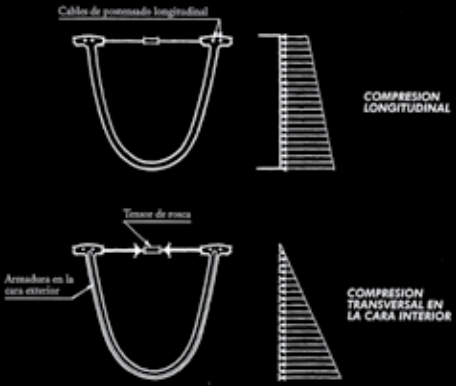
O aqueduto de Alloz é outra das obras pioneiras de betão armado pré-esforçado de Eduardo Torroja. Foi realizada com um engenhoso sistema de pré-esforço não convencional. O aqueduto está formado por um canal autorresistente de secção em parábola cúbica, o qual, por sua vez, está pré-esforçado em duas direções ortogonais que lhe garantem a impermeabilidade. O canal está apoiado em suportes de betão, em forma de «compasso gigante» ou de tesoura, dispostos de 20 em 20 m. Cada secção de 40 m está formada por uma parte central de 20 m e dois avançamentos de 10 m cada um nas extremidades. O pré-esforço longitudinal realiza-se através de dois cabos entrançados situados nas bordas superiores do canal, e o transversal está formado por barras roscadas aéreas que unem estas bordas de 4 em 4 m em sentido transversal. O engenhoso sistema de pré-esforço longitudinal consistiu na colocação de abraçadeiras entre cada par de cabos que, posteriormente, se separavam por meio de um compasso metálico e um macaco hidráulico. Depois de esticados, os cabos eram betonados.

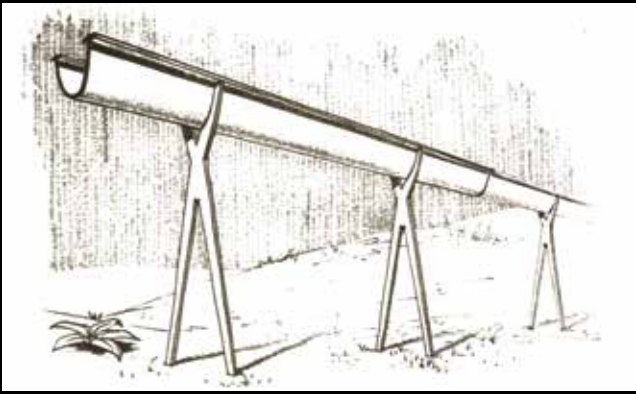
Mas não se tratava apenas de uma obra pioneira no que diz respeito à utilização de betão pré-esforçado. De aspeto atraente, impregnava nos peregrinos uma imagem despojada de Modernismo em pleno caminho de Santiago.

«A ideia principal do projeto deste aqueduto consistiu em eliminar qualquer possibilidade de aparição de fissuras ou filtrações no parâmetro, submetendo a face interna das suas paredes a compressão bidirecional.»

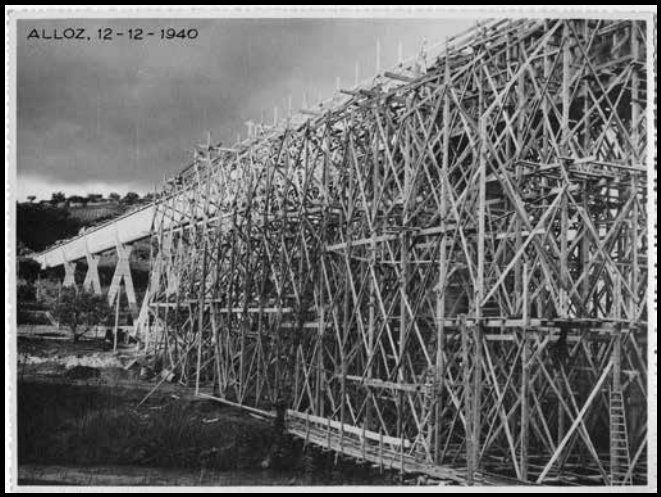
Eduardo Torroja, 1958







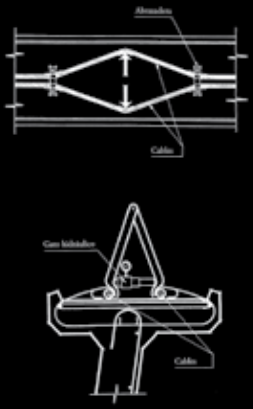
Esquema do aqueduto de Alloz



1939-1942
Aqueduto de Alloz

Construção

Tensão dos cabos com macaco hidráulico



Ponte de Tordera

Engenheiros: Eduardo Torroja, César Villalba Granada e Gabriel Andreu Elizaicin
Empresa de construção: Obras Metálicas Electro-Soldadas (OMES); Investigaciones de la Construcción, S.A. (ICON)
Datas: 1939 (projeto); 1939-1944 (construção)
Localização: Estrada geral Barcelona-Girona, Espanha

Eduardo Torroja foi pioneiro no uso de estruturas mistas. Elaborou os projetos de várias pontes mistas de aço e betão armado, aproveitando as diferentes características resistentes destes dois materiais. A primeira delas foi a ponte de Tordera (1939), que havia sido completamente destruída durante a Guerra Civil, exceto os pilares. Sobre estes foi construído um novo tabuleiro de betão armado sobre vigas metálicas elípticas de três secções, dois vãos de 45,70 m nas extremidades e um vão central de 54,70 m sob o tabuleiro. As lajes de betão armado do tabuleiro foram unidas ao cordão superior das vigas metálicas mediante barras soldadas, de tal maneira que as lajes trabalham como cabeças de compressão das vigas.

Os nós desta ponte foram objeto de reconhecimento internacional (Suécia).

«Depois de experimentar várias soluções, optou-se pela viga elíptica para que a carga –de tração– fosse suficientemente constante ao longo de todo o comprimento da cabeça inferior, mantendo as compressões nas diagonais suficientemente reduzidas para evitar o varejo.»

Eduardo Torroja, 1958

1939-1944
Ponte de Tordera, estrada Barcelona-Girona, Espanha

Ponte del Pedrido

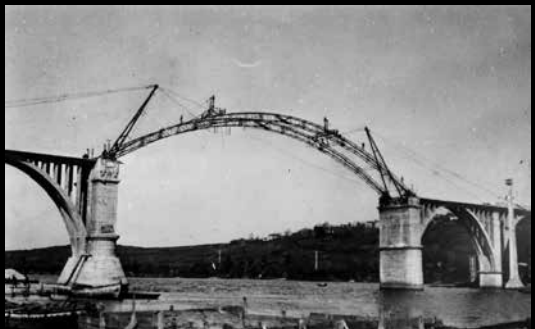
Engenheiro: Eduardo Torroja Miret e César Villalba Granda
Empresa de construção: Ricardo Barredo S.A.
Datas: 1939 (Eduardo Torroja - projeto); 1939-1943 (construção)
Localização: Ria de Betanzos, A Corunha, Espanha
Tipo: Ponte em arco

A ponte del Pedrido foi iniciada pelo engenheiro César Villalba Granda antes da Guerra Civil. Trata-se de uma ponte de 520 m de comprimento com três secções diferentes. A eclosão da Guerra Civil em 1936 paralisou as obras quando apenas tinham sido construídos os dois troços das extremidades: o primeiro, com um tabuleiro de 340 m, apoiado em 10 arcos duplos, e o terceiro, com um tabuleiro de 102 m sobre três arcos duplos.

Em 1939, Eduardo Torroja fez o projeto do troço central, terminando, assim, a ponte. Este troço consiste num inovador arco de tirantes de betão armado de 78,40 m de vão e 12,50 de flecha, com duas articulações. Está formado por dois nervos principais de canto variável que contam com uma largura uniforme nos arranques. O tabuleiro inferior é uma armação contínua de 3,65 m de vão que está suspensa do arco por meio de cabos transversais.

«As duas metades da armadura principal do arco, à base de perfis laminados soldados, foram estudadas de maneira a poderem ser projetadas desde cada extremo da ponte, e uma vez unidas na chave e colocado o tirante, a permitirem a betonagem do arco.»

Eduardo Torroja, 1940
(Memória do projeto)



1939
Ponte del Pedrido, A Corunha, Espanha

Construção

Viaduto Martín Gil – Arco do Esla

Engenheiros: Francisco Martín Gil, César Villalba Granda, Antonio Salazar Martínez e Eduardo Torroja Miret
Promotor: Espanha, Ministério das Obras Públicas
Empresa de construção: Max Jacobson, S.A., Ricardo Barredo, S.A., Esab Ibérica, S.A., Investigaciones de la Construcción, S.A. (ICON)
Data: 1932 (1º projeto); 1935 (2º projeto); 1939 (3º projeto); 1934-1943 (construção)
Localização: Rio Esla, Manzanar del Barco, Zamora, Espanha
Comprimento total: 479 m; **Altura**: 84 m
Arco central: 209 m

O viaduto Martín Gil foi uma das muitas obras interrompidas com o início da Guerra Civil. Em 1939, uma vez terminada a Guerra, Eduardo Torroja construiu o grande arco central de betão armado, que bateu um recorde com um vão de 209 m.

Para otimizar o processo de construção e os custos, Eduardo Torroja desenhou um cimbre metálico que ficou incorporado no interior da secção de betão do arco, como uma armadura permanente. Este cimbre estava formado por duas barras paralelas de travamento em X. A betonagem do grande arco efetuou-se por camadas longitudinais de espessura cada vez maior, já que, uma vez endurecido o betão colocado anteriormente, o cimbre podia suportar esforços maiores.

«Uma vez endurecido o betão, foram colocados macacos hidráulicos nos arranques e na chave das cabeças inferiores para pôr em compressão estes cordões e libertar parcialmente os superiores das cargas de compressão que, até esse momento, haviam suportado na totalidade.»

Eduardo Torroja, 1958

1934-1943
Grande arco do Esla,
Manzanar del Barco,
Zamora, Espanha

Construção

Hangares

Engenheiro: Eduardo Torroja Miret
Arquiteto: Rafael de la Joya Castro
Empresa de construção: Obras Metálicas Electro-Soldadas (OMES)
Data: 1942
Localização: Aeroporto de Torrejón de Ardoz, Madrid, Espanha
Promotor: Força Aérea Espanhola (Ministério da Defesa)
Data: 1946-1949
Localização: Real Aero Club de España, Cuatro Vientos, Madrid

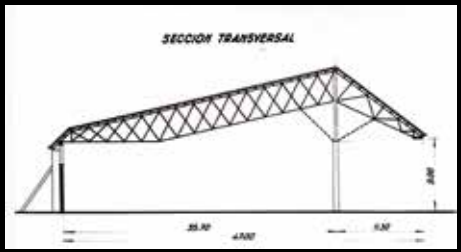
Entre 1942 e 1949, Eduardo Torroja projetou e construiu em Madrid três hangares com grandes coberturas metálicas cujas empreitadas ganhou em concursos públicos convocados pela Força Aérea Espanhola. O primeiro dos três foi o do aeroporto de Torrejón, cujo modelo se utilizou também para o do aeroporto de Barajas. A superfície livre devia ser de 182,88 m x 47,24 m, e as portas de acesso, situadas num dos lados de maior comprimento, podiam estar divididas por um suporte central situado, no máximo, a 10 m em direção ao interior. Eduardo Torroja desenhou a cobertura com uma inclinação ascendente de 13º pelos quatro lados com o objetivo de reduzir ao máximo a pressão do vento sobre as paredes laterais. Está formada por uma trave mestra longitudinal sobre a qual se apoiam as treliças transversais fixas por meio de elementos de X.

O último e mais diferente destes hangares foi o de Cuatro Vientos. A sua cobertura está formada por arcos metálicos de 35 m de vão que se cruzam, formando uma abóbada reticulada de grande rigidez. Os arcos foram montados no solo e içados posteriormente até à sua posição definitiva (veja-se a imagem da pág. 56).

«Cada uma das duas metades da estrutura da cobertura trabalha como uma espécie de viga triangulada de grande rigidez, apesar da sua ligeireza.»

Eduardo Torroja, 1958

1942, Hangar em Torrejón de Ardoz, Madrid, Espanha



1946-1949
Hangar de Cuatro Vientos,
Madrid, Espanha

Campo de futebol de Les Corts

Engenheiro: Eduardo Torroja Miret
Arquiteto: José Mª Sagnier Vidal
Promotor: Clube de Futebol Barcelona
Empresa construtora: Pubasa
Data: 1943-1945
Localização: Barcelona, Espanha

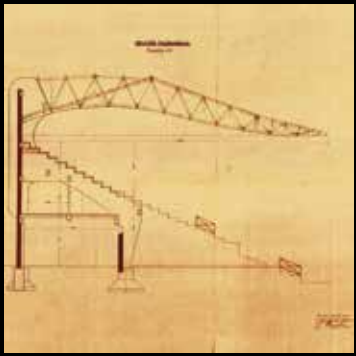
É uma inovadora estrutura mista de betão e aço. A sua cobertura metálica consiste num avançamento apoiado em grandes suportes de betão armado e que se estende ao longo de 25 m sobre as bancadas. Uma vez mais, o projeto responde à contínua procura de Eduardo Torroja por escolher, para cada caso específico, não só a forma resistente mais adequada e que melhor acompanhe a funcionalidade do espaço, mas também os materiais que otimizem o custo da estrutura.
A estrutura da cobertura está formada por uma malha espacial de mênsulas metálicas trianguladas, dispostas a intervalos de 5 metros, fixadas aos suportes de betão armado por meio de pernos que unem a parte superior da mênsula à armação de aço do betão. A chamativa forma ondulada do seu intradorso é o resultado de o revestir com pranchas de madeira de cor alaranjada. A estrutura de betão armado que faz de suporte à cobertura e à bancada foi engenhosamente concebida de maneira a reduzir o seu canto, custo e aumento de momento fletor. Com este objetivo, Eduardo Torroja dividiu em dois o vão de 8 metros das vigas inclinadas das bancadas por meio de um tirante central.

«Não era fácil encontrar materiais ou soluções estruturais alternativas suscetíveis de serem empregues nesta grande cobertura em avançamento, já que o seu espaço de 25 m em equilíbrio sobre a bancada teria de ser necessariamente metálico para reduzir peso e custos.»

Eduardo Torroja, 1958

Ensaio de carga

1943-1945
Estádio de Les Corts, Barcelona, Espanha



Secção

Capela Aberta Sancti Spirit

Engenheiro: Eduardo Torroja
Promotor: Empresa Nacional Hidroeléctrica del Ribagorzana (E.N.H.E.R.)
Data: 1953
Localização: Vall de Sant Nicolau, Aigües Tortes, Lleida, Espanha (desaparecida)

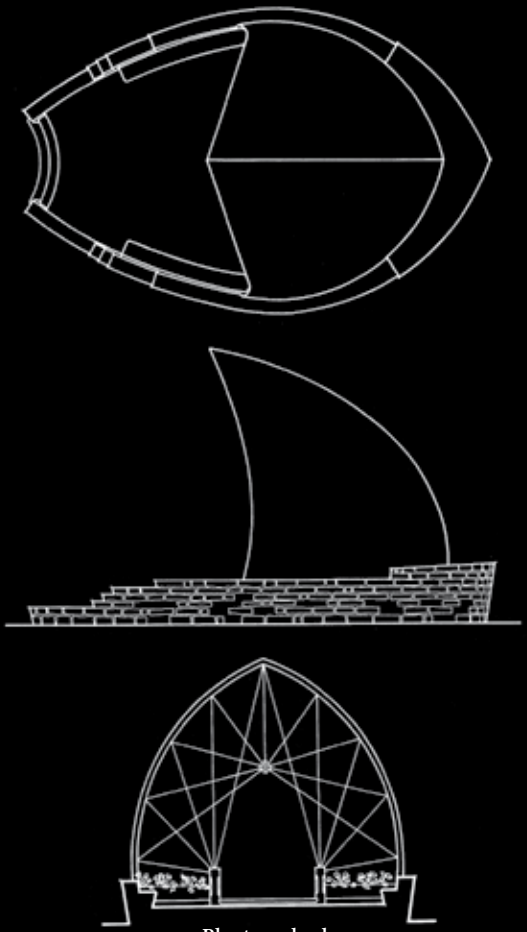
Numa paisagem idílica perdida nas montanhas e à beira do rio Sant Nicolau, Eduardo Torroja construiu uma pequena joia do Modernismo das estruturas laminares, lamentavelmente desaparecida. Tratava-se de uma pequena capela aberta, como um refúgio hemisférico. A estrutura laminar definia, desde o seu arranque do solo, a totalidade do espaço habitável. Lembrava uma vela insuflada pelo vento.

A sua forma resistente era a de uma meia cúpula executada em tijolo armado de face à vista, uma solução muito económica em Espanha naqueles tempos. Destacava o seu sistema original de enrijecer a borda da cúpula através da inclusão de uma série de tirantes esticados, distribuídos de maneira radial desde dois pontos fixos.

«Não existe atualmente qualquer método prático para realizar o cálculo de tensões em lâminas deste tipo, se bem que este problema não deveria ser motivo para descartar a sua construção, inclusivamente sendo as suas dimensões ainda maiores do que este pequeno refúgio.»

Eduardo Torroja, 1958

1953, Capela de Sancti Spirit, alçados lateral e frontal



Planta e alçado

1952
Eduardo Torroja
Módulo da Pont de Suert

Igreja de Pont de Suert

Engenheiro: Eduardo Torroja Miret
Arquiteto: José Rodríguez Mijares
Promotor: Empresa Nacional Hidroeléctrica del Ribagorzana (E.N.H.E.R.)
Data: 1952-1955
Localização: Pont de Suert, Lleida

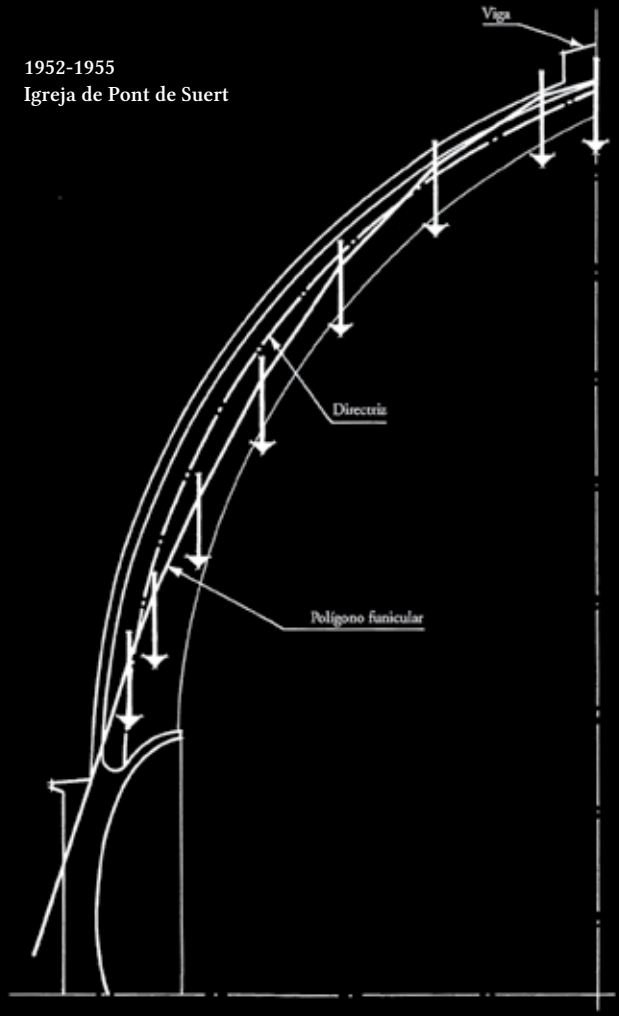
Desde o ponto de vista da sua conceção espacial, o aspeto mais destacável da cobertura laminar da igreja paroquial de Pont de Suert é que não se trata apenas de uma cobertura propriamente dita, já que definia a totalidade do espaço habitável desde o seu arranque do solo. É a própria estrutura que define a forma geométrica da igreja. Um facto que também se pode apreciar desde o exterior.

A estrutura de nave única da igreja está formada pela sequência contínua de uns módulos laminares abobadados, formados pela união de um lóbulo abobadado principal (cobertura e parede) e as também abobadadas pequenas capelas absidais. O lóbulo adota a curvatura geral dos arcos ogivais, mas com a sua curvatura transversal variável, mais achatada na chave. A sua forma geométrica está adaptada aos momentos fletores. Na chave dos módulos enfrentados ao longo da nave encontra-se uma viga de betão armado que enrijece e estabiliza a estrutura. Estas abóbadas laminares foram executadas com três roscas de tijolo de face à vista de 3 cm de espessura cada uma, colocadas deitadas. No exterior colocou-se uma fina malha metálica revestida com argamassa de cimento.

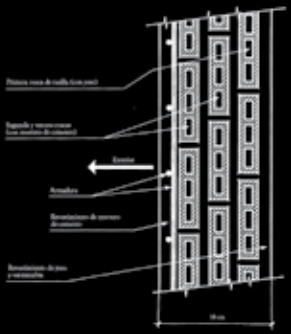
«Este tipo de lâminas sai barato e pode adaptar-se a qualquer forma que se deseje, inclusivamente a curvaturas em constante mudança, como demonstram as abóbadas desta igreja.»

Eduardo Torroja, 1958

1952-1955
Igreja de Pont de Suert



COMPRESIONES EN LA BOVEDA



DETALLE DE LA BOVEDA

Depósito de Fedala

Engenheiro: Eduardo Torroja Miret
Colaboradores: Alfredo Páez, Florencio del Pozo
Empresa de construção: F. Fernández, Société Marocaine des Entreprises Fernández, Marrocos
Localização: Fedala, Marrocos
Datas: 1956 (projeto); 1956-1957 (construção)

O mais inovador e chamativo depósito de Eduardo Torroja foi, sem dúvida, o de Fedala. Projetou todas as partes com diferentes materiais e formas resistentes, a fim de otimizar o seu funcionamento estrutural, a sua funcionalidade e o processo de construção.

É por essa razão que as paredes do tanque e o fundo estão construídos com betão armado e pré-esforçado, enquanto que a sua cobertura, uma vez que não recebe pesos nem a força da água contida, foi construída com uma leve estrutura laminar de tijolo de face à vista que não necessita cofragem. O fundo do depósito é uma abóboda tórica de betão armado, cujo anel exterior está pós-esforçado mediante tensores de rosca, e as paredes adotam a forma de um hiperboloide de revolução de betão pós-esforçado de acordo com as suas geratrizes e diretrizes. A compressão simultânea destas linhas evita o risco de aparição de fissuras. Uma engenhosa e atraente solução através da qual cada elemento adota a forma resistente e o material mais adequados.

«O principal problema durante a fase de desenho deste depósito de 3.500 m3 de capacidade foi encontrar o método de impermeabilização satisfatório. Por isso, modificou-se a forma inicial –um cone truncado– e optou-se por um hiperboloide de revolução, pós-esforçado ao longo das duas famílias de linhas retas típicas num hiperboloide. Assim conseguia-se uma compressão simultânea nas suas geratrizes e diretrizes, e evitava-se o risco de aparecimento de fissuras.»

Eduardo Torroja, 1958

1956-1957
Depósito de Fedala, Marrocos

Construção

Barragem de Canelles

Engenheiros: Carlos Benito Hernandez, Eduardo Torroja Miret
Promotor: Empresa Nacional Hidroeléctrica del Ribagorzana (E.N.H.E.R.)
Empresa de construção: E.N.H.E.R.
Data: 1953-1964
Localização: Rio Noguera, Ribagorzana, Lleida, Espanha
Comprimento: 210 m
Altura: 140 m

A barragem de Canelles, de 140 m de altura e com forma de abóbada de betão armado, marcou um recorde na Espanha. A sua forma geométrica tem uma curvatura variável tanto horizontal como vertical, resultado da análise estrutural de Eduardo Torroja utilizando vários e sucessivos ensaios sobre modelos reduzidos para otimizar a sua forma resistente. A obra foi concluída em 1964, três anos depois da morte de Eduardo Torroja.

«Fizeram-se 17 modelos diferentes a escala reduzida antes de se chegar ao projeto definitivo. Em cada modelo iam-se introduzindo as modificações que o ensaio anterior aconselhava, e assim sucessivamente. Os ensaios deram-se por terminados quando se obteve uma forma para a barragem com compressões máximas de 50 kg/cm² e trações praticamente nulas na face a montante.»

Eduardo Torroja, 1958

Ensaios com modelos a pequena escala

1953-1964
Barragem de Canelles,
Lleida, Espanha

SALA – S3

A terceira e última sala da exposição permanente do Museu Eduardo Torroja está dedicada ao centro atualmente conhecido como Instituto de Ciências da Construção Eduardo Torroja, membro do CSIC.

A construção da sua nova e revolucionária sede (1949-1953) permitiu a Eduardo Torroja levar a cabo o importante trabalho de investigação, difusão e docência que havia previsto para estimular o progresso da construção civil e arquitetónica durante as décadas douradas do Modernismo. Foi no marco do Instituto onde Eduardo Torroja fundou a International Association for Shell Structures - IASS (1959), entre muitas outras organizações nacionais e internacionais.

«Outros julgarão melhor do que eu o nosso trabalho.»

Eduardo Torroja, 1961 (Excerto da carta dirigida aos seus colaboradores.)

Obras expostas: A construção da nova e atual sede do Instituto, os seus elementos únicos, assim como publicações, as lâminas experimentais construídas por Eduardo Torroja em 1959 e a Costela Laminar, construída em 1969 em homenagem ao betão e ao aço e em memória de Eduardo Torroja.

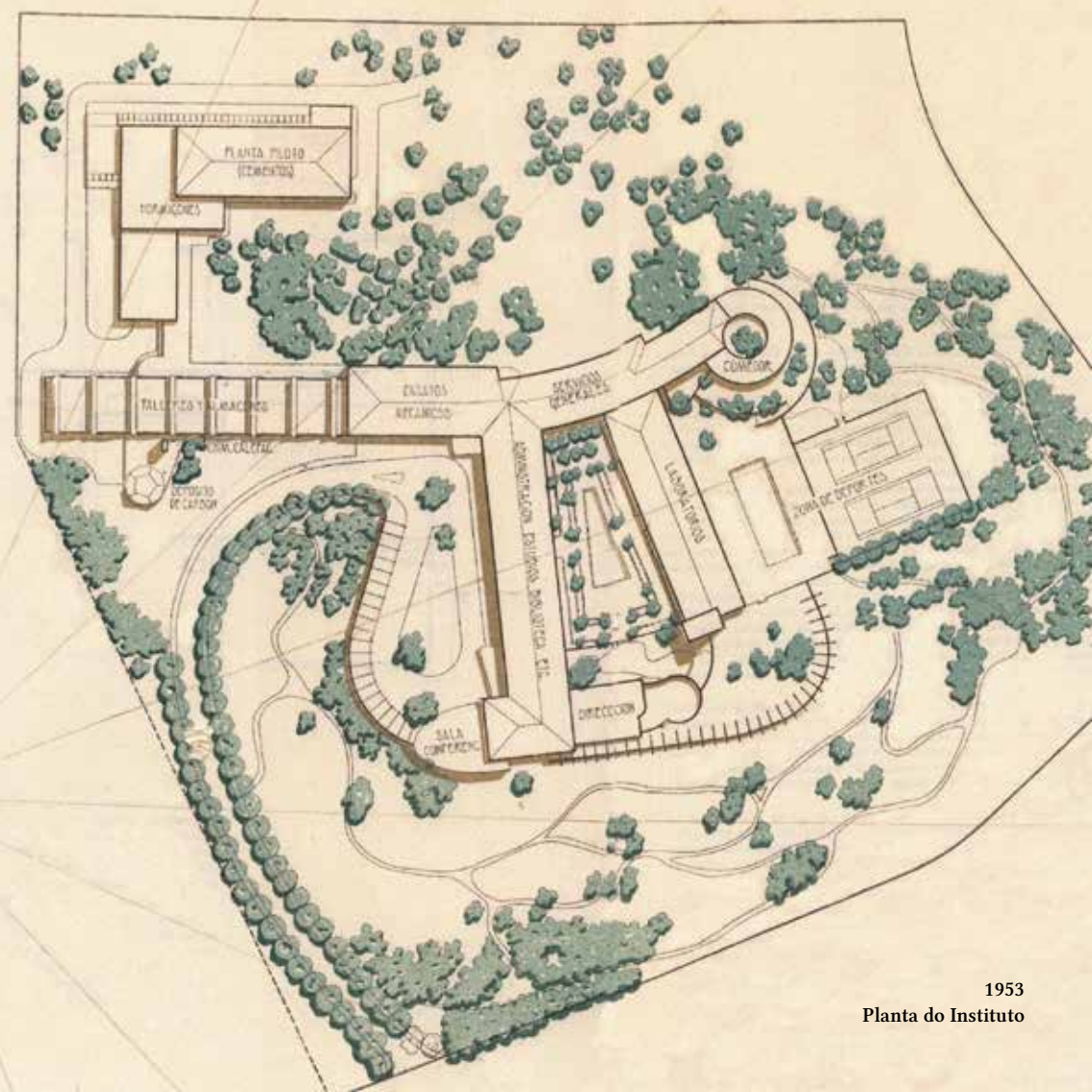
Instituto Eduardo Torroja

Engenheiro: Eduardo Torroja Miret
Arquitetos: Gonzalo Echegaray Corriba, Manuel Barbero Rebolledo
Promotor: Eduardo Torroja
Empresa de construção: Agroman S.A.
Data: 1949-1953
Localização: Madrid, Espanha

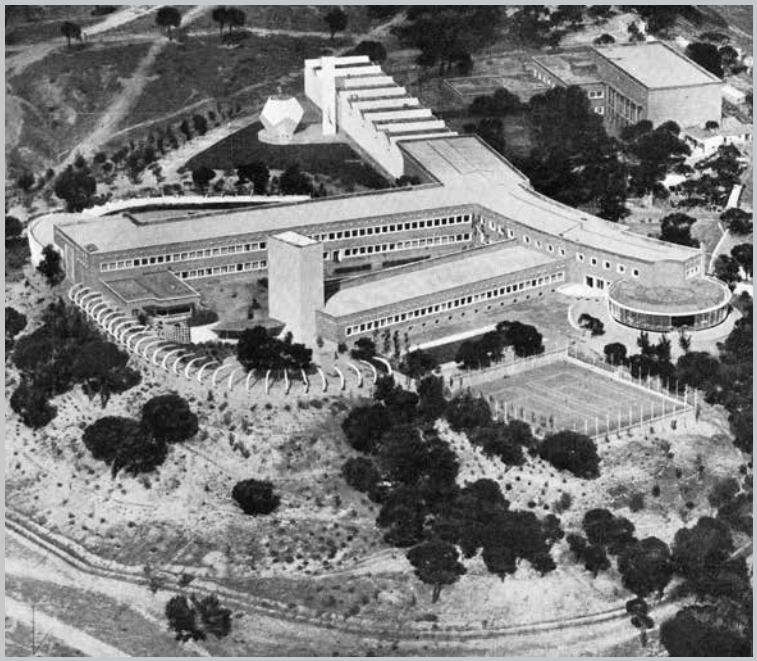
O Instituto de Ciências da Construção Eduardo Torroja (IETcc), fundado em 1934 com o nome de Instituto Técnico da Construção e da Edificação (ITCE), é, sem dúvida, o legado mais importante e estimado de Eduardo Torroja. Dedicou-lhe uma grande parte da sua vida profissional (1934-1961), dirigindo-o, até ao próprio dia da sua morte, com um especial modelo de pensamento e atuação que fez possível que este instituto se tornasse um dos centros de investigação de maior relevância internacional durante as décadas de ouro do Modernismo.

Em 1949, Eduardo Torroja iniciou o projeto da nova sede do Instituto: um revolucionário *habitat* para a investigação. A volumetria arquitetónica consiste em oito corpos interconectados de um ou dois andares que, como se de um pente irregular de oito corpos se tratasse, se adapta à topografia do terreno e adota a forma do número pi, gerando cinco pátios ajardinados abertos que rodeiam e envolvem as suas extensas fachadas.

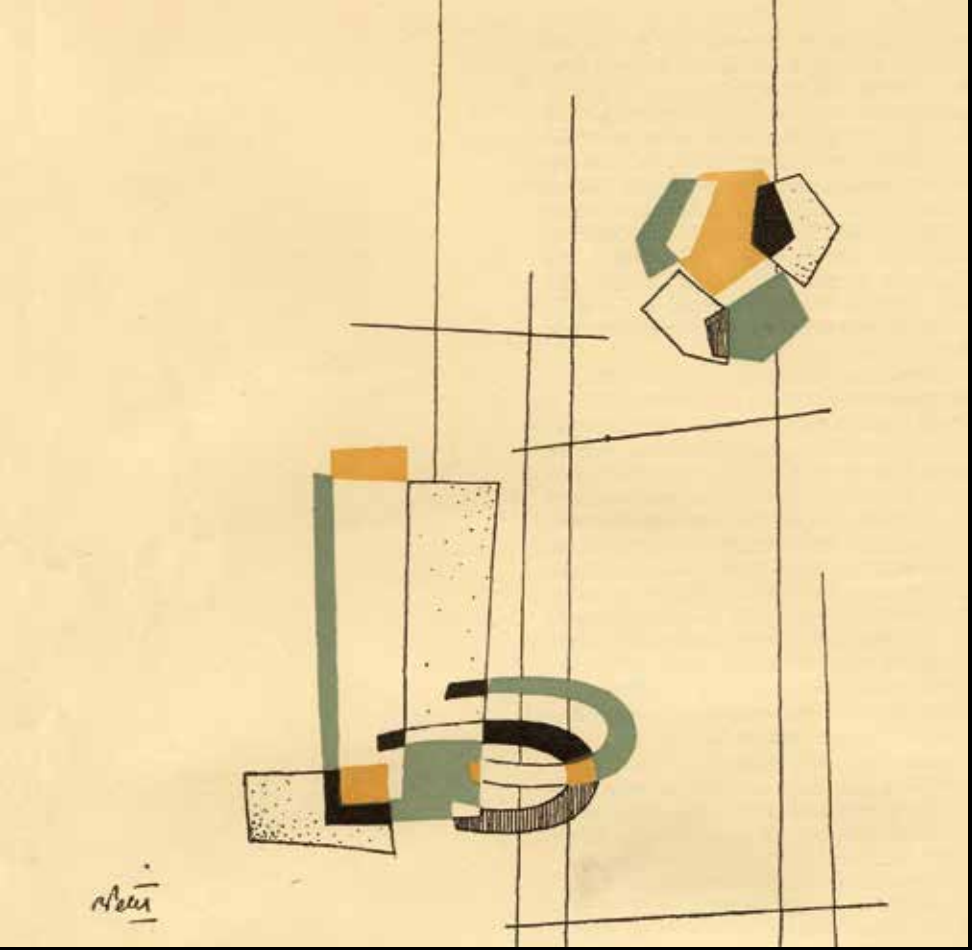
Eduardo Torroja aproveitou a construção da nova sede para aplicar as investigações realizadas pelo Instituto sobre a racionalização de sistemas construtivos tradicionais e a pré-fabricação de novos elementos. A nova sede foi, durante a sua construção, um grande workshop experimental, uma «escola de pré-fabricação» *in situ*, com a qual Eduardo Torroja pretendia potenciar o desenvolvimento dos precários meios com os quais se contava na Espanha daquela época. Eduardo Torroja dotou a nova sede do Instituto de inovadoras estruturas e espaços arquitetónicos: o refeitório circular, o silo de carvão em forma de dodecaedro, a cobertura laminar triangulada dos laboratórios e das naves de ensaios e a pérgula de margem. É significativo que todas estas construções tenham sido posteriormente escolhidas pelo próprio Eduardo Torroja do conjunto da sua obra para serem incluídas no seu livro intitulado *Las estructuras de Eduardo Torroja; an Autobiography of an Engineering Accomplishment*, publicado em 1958 por F.W. Dodge Corporation, Nova Iorque.



1953
Planta do Instituto



1953, Instituto técnico da Construção e do Cimento, nova sede.



1955, Bernard Petit
Dodecaedro do Instituto

Elementos singulares do Instituto

Engenheiro: Eduardo Torroja Miret
Promotor: Eduardo Torroja Miret
Empresa de construção: AGROMAN S.A.
Data: 1949-1953
Localização: Madrid

O refeitório circular do Instituto é uma peça arquitetónica sem dúvida atraente. A sua pele curvada de vidro penetra no jardim circundante abrindo caminho entre os pinheiros. Ergue-se sobre uma planta circular de 22,44 m de diâmetro e uma altura de 3,50 m. O seu remate está formado por dois muros curvos laterais de betão armado revestidos com pedra natural e uma enorme parede envidraçada aberta a 180º que se pode mover e ocultar entre os muros, permitindo que o refeitório desapareça como uma peça fechada e se funda no jardim. A estrutura da cobertura está formada por treliças metálicas em avançamento, de canto variável (0,84 m a 0,22 m) e disposição radial, que se apoiam nas colunas de betão armado situadas no interior do refeitório, circunscrevendo um pequeno jardim central circular.

A cobertura laminar triangulada da nave de *workshops* do Instituto cobre um piso retangular de 15,00 m x 78,70 m e está formada por nove abóbadas cilíndricas de 10 m de vão, de maneira que se cortam entre si mediante ângulos de 90°. A estrutura está realizada com pequenos perfis metálicos (I-80) dispostos em gelosia triangulada com uniões soldadas, de tal maneira que todos os triângulos são equiláteros e do mesmo tamanho. As nove estruturas laminares trianguladas foram construídas no solo e posteriormente elevadas até à sua posição definitiva (a 7 m de altura) com grande facilidade devido ao seu peso reduzido.

«[...] já se construíram muitas coberturas deste tipo com lâminas de betão armado, mas neste projeto considerou-se que seria mais económico substituir este material por uma estrutura muito leve de gelosia triangulada, adaptada à forma cilíndrica da cobertura.»

Eduardo Torroja, 1958

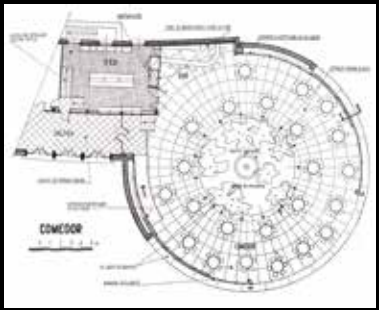
A pérgula, situada na margem oeste do jardim, está formada por uma sequência contínua de costelas de betão armado que adotam a forma geométrica de uma Lemniscata de Bernoulli com curvatura final nula, que representa o símbolo matemático do infinito. Eduardo Torroja escolhe, uma vez mais, uma forma geométrica cheia de significado para delimitar, nesta ocasião, o espaço exterior do Instituto. Cada costela é uma viga curva em avançamento que se crava no muro de betão armado que serve de contenção de terras ao jardim. Sobre estas costelas estenderam-se, como se de uma rede se tratasse, umas malhas metálicas formadas por vigas lisas de aço que adotaram uma forma geométrica semelhante à da paraboloide hiperbólica.

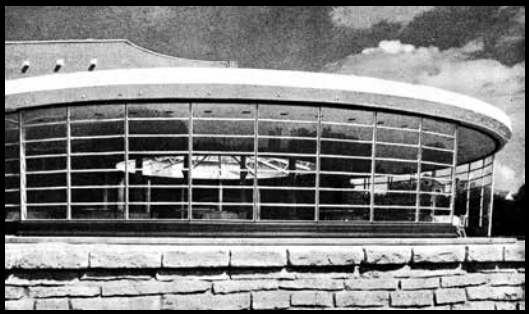
O dodecaedro foi concebido como depósito de carvão. É um dodecaedro regular e isento que, qual obra escultórica, se situa junto da entrada principal e que em poucos anos se transformou no símbolo do IETcc.

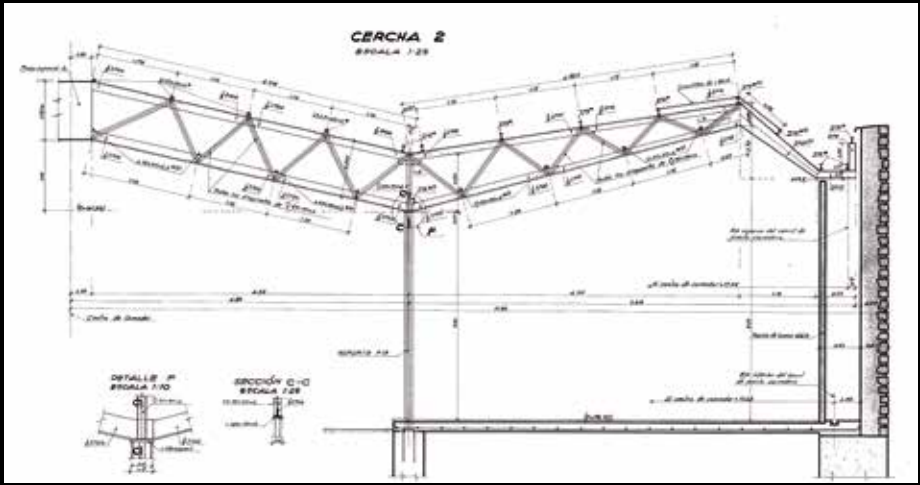
Esta estrutura de 8,60 m de altura, confecionada em lâminas de betão armado com paredes de 22 cm de grossura, parece ter sido dobrada até adquirir aquela forma. Eduardo Torroja explicou que, embora a esfera seja a forma geométrica com a melhor relação entre volume e superfície, o dodecaedro é mais fácil de construir, mais económico e indubitavelmente atraente devido à sua geometria e ao seu grande tamanho projetado. É conhecido como um dos poliedros platónicos e atribui-se-lhe um sem-fim de propriedades de máxima ordem no espaço, uma vez que nasce da proporção áurea. Um ano mais tarde, em 1954, o arquiteto Richard Buckminster Fuller obteve a sua famosa patente de cúpulas geodésicas inspirando-se no icosaedro e no dodecaedro e defendendo a sua facilidade de construção, se bem que neste caso se tratava de superfícies geradas por barras e não em planos.

«[...] nestas figuras poliédricas, o jogo de luzes e as linhas de sombra amoldam-se exatamente às arestas traçadas pelo projetista, o que lhes outorga uma limpeza e dureza de contornos típica.»

Eduardo Torroja, 1959

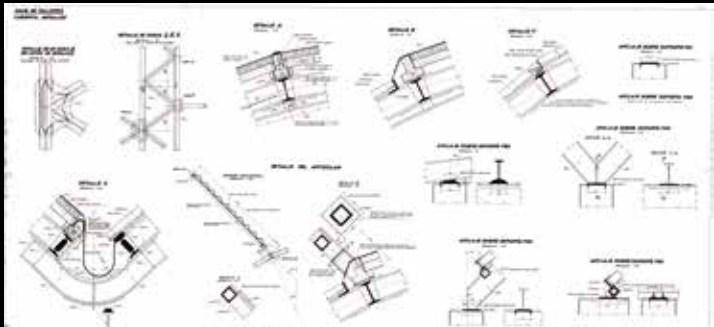


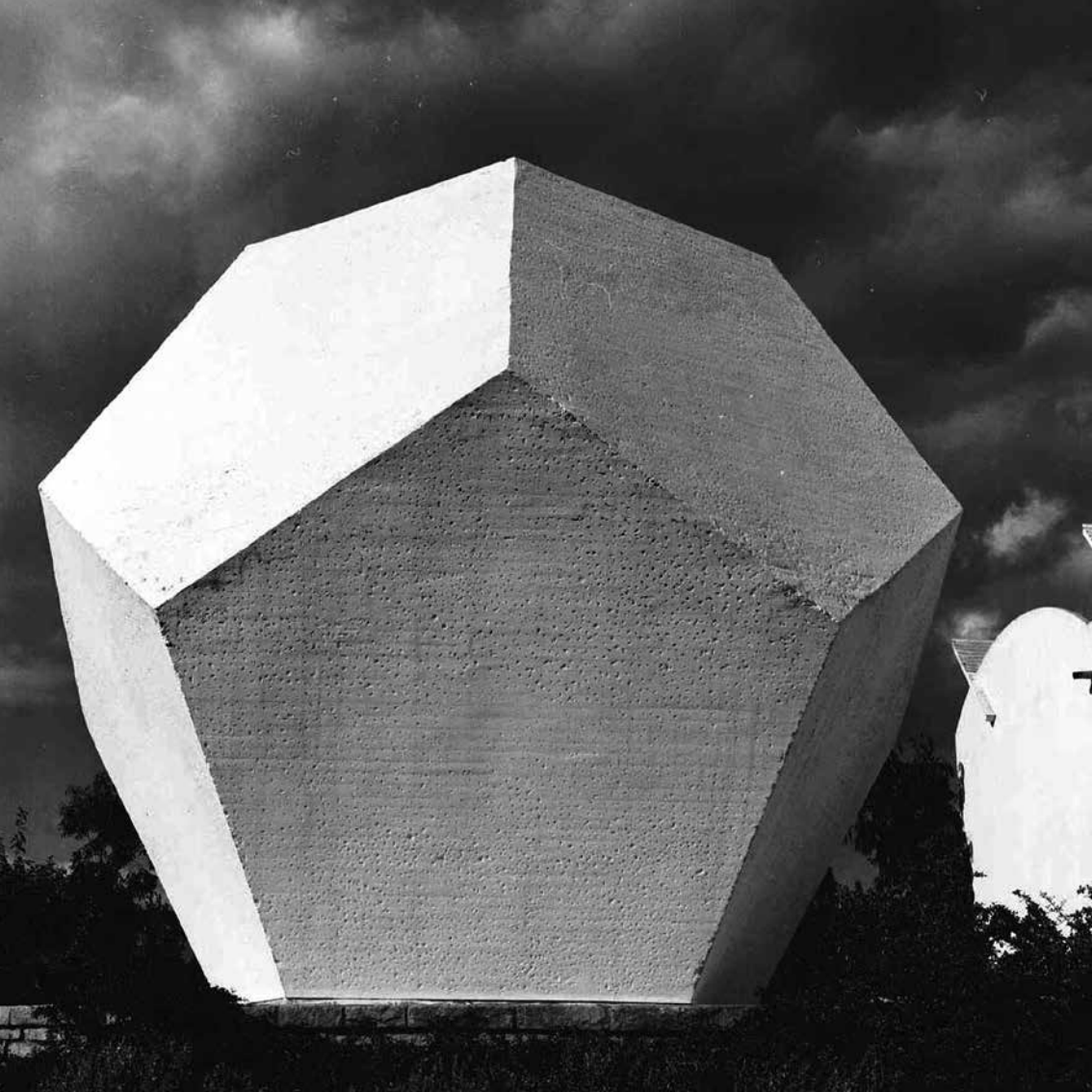


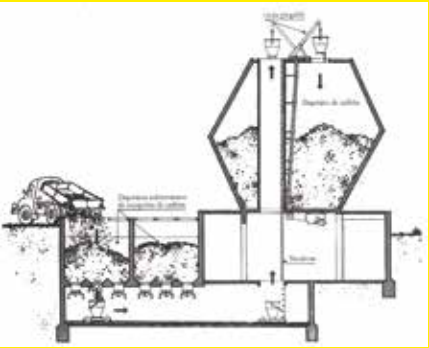


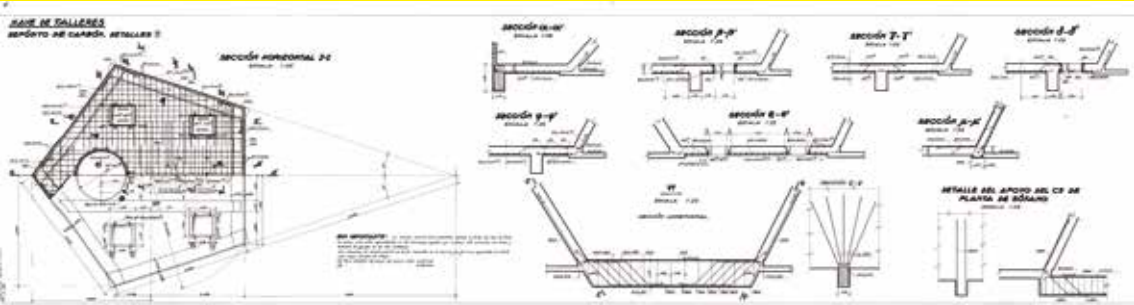
Refeitório visto desde o jardim, planta e detalhe de viga

1953
Nave de ensaios









1953
Dodecaedro - silo de carvão
Plantas de projeto e processo de execução

1955, Eduardo Torroja com um grupo de assistentes ao curso de especialização no Instituto Técnico de Construção e do Cimento

IASS

O legado de Eduardo Torroja não se limita à obra construída, contribuições para o cálculo, desenvolvimento dos ensaios com modelos reduzidos (como o método de verificação de funcionamento estrutural) ou a sua destacada contribuição para o desenvolvimento do betão armado e pré-esforçado. Possuía, além disso, uma capacidade organizativa e de liderança. Ao longo da sua vida fundou várias associações, tanto nacionais como internacionais, que, como a IASS (1959), continuam vivas e são referências para o progresso da construção civil e arquitetónica.

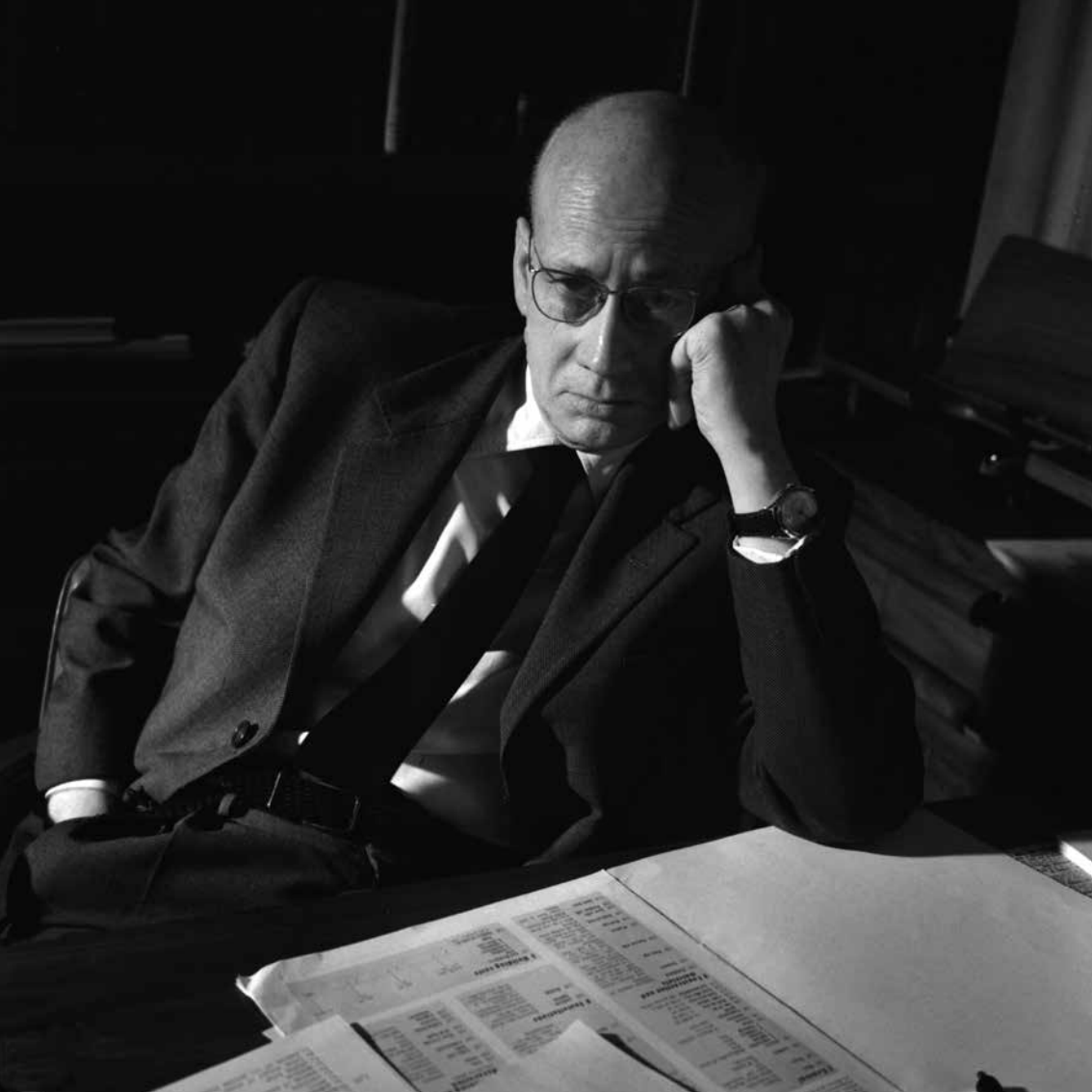
Foi em setembro de 1959 quando se celebrou no Instituto dirigido por Eduardo Torroja o *International Colloquium on Non-traditional Processes for Thin Shell Construction*. Nesta reunião, seguindo uma proposta de Eduardo Torroja, fundou-se a IASS - Internacional Association for Shell Structures. Foi organizada por Eduardo Torroja, contando com a colaboração do Laboratório Central de Ensaios de Materiais, do qual também era diretor. Mais de 100 especialistas de diferentes países participaram neste colóquio: Alemanha, Argentina, Brasil, Bélgica, Ceilão, Dinamarca, Espanha, Finlândia, França, Holanda, Inglaterra, Itália, Japão, Noruega, Polónia, Portugal, Suécia, Suíça e Uruguai. Entre os participantes encontrava-se boa parte dos mais destacados protagonistas da construção e do desenvolvimento das *thin concrete shells*, que presidiram algumas das sessões e/ou apresentaram trabalhos inéditos ao colóquio. Entre muitos outros, referimo-nos a A. Paduart, W. Zerna, K. W. Johansen, H. Rüle, F. Müller, R. S. Jenkins, W. Poniz, A. L. Parme, E. Giangreco, A. M. Hass, M. Hahn, N. Esquillan, Y. Tsuboi, O. Arup e H. Isler.

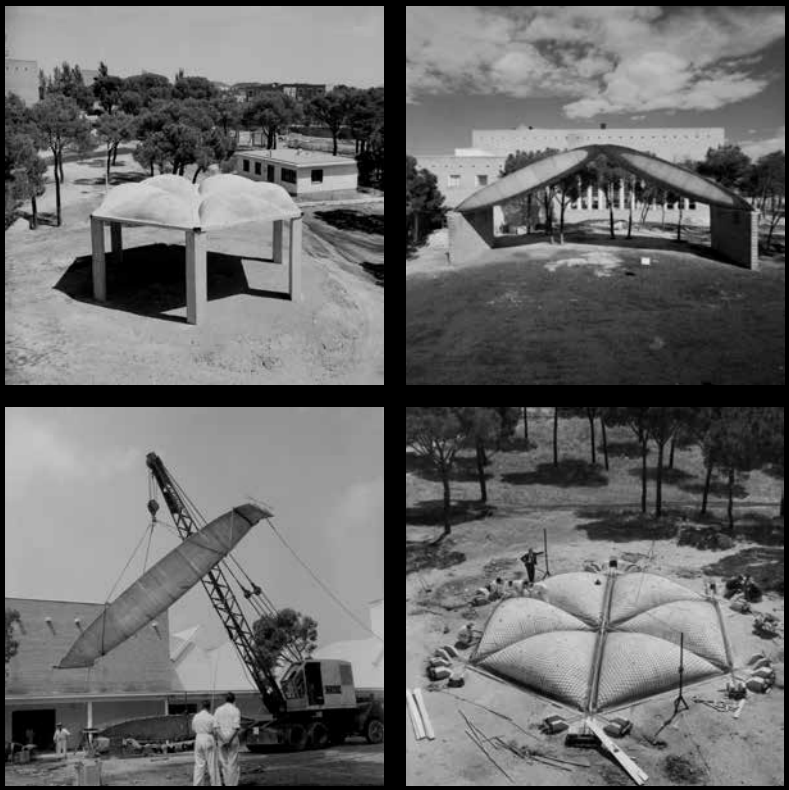
Eduardo Torroja começou os preparativos do colóquio internacional em 1958, momento em que já estava convencido da conveniência de criar uma associação internacional que se dedicasse às *thin concrete shells*. Pensou que a melhor maneira de receber os congressistas era realizando no Instituto duas estruturas laminares experimentais em tamanho natural nos jardins do Instituto, concretamente no chamado «Pátio dos Alarifes». Estas foram as duas últimas estruturas laminares construídas por Eduardo Torroja. No dia 16 de setembro de 1959, durante este primeiro colóquio da IASS, Eduardo Torroja recebeu os congressistas no Pátio dos Alarifes e mostrou-lhes as lâminas experimentais que tinha construído. Uma delas, conhecida como «*as baleias*», era uma cobertura laminar de 3 cm de espessura formada por 10 elementos pré-fabricados de dupla curvatura que formavam um módulo laminar de 10,25 m de comprimento e 1,85 m de largura. Este módulo unia-se a outro idêntico por meio de um tirante inferior, formando uma cobertura inclinada apoiada em dois muros nas extremidades. A forma geométrica dos elementos pré-fabricados estava definida transversalmente por uma sinusoide e, longitudinalmente, por dois arcos de elipse que se cortam. A forma final do módulo respondia à otimização da distribuição de forças.

A outra estrutura laminar experimental construída por Eduardo Torroja, que contou com a colaboração do seu filho, José Antonio Torroja Cavanillas, consistia em módulos como cúpulas de planta triangular com uma espessura de 4 cm que, colocados sobre uns suportes distribuídos de acordo com um esquema hexagonal, formavam a cobertura de um depósito de água enterrado, devendo suportar uma carga de terra na ordem de 20 kN/m². Foram construídos 6 módulos no solo, betonando-os ao mesmo tempo, separados por juntas, e posteriormente foram levantados e colocados nos seus respetivos suportes.

Pepa Cassinello
Comissária

IASS
Medalha Eduardo Torroja





1959, Estruturas experimentais, Pátio dos Alarifes, Instituto Eduardo Torroja

Costela Laminar

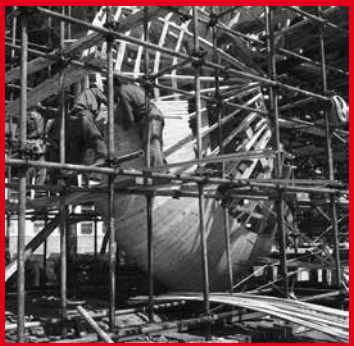
Monumento ao betão e ao aço

Arquiteto: Fernando Cassinello Pérez
Engenheiros: José Antonio Torroja (estrutura)
Francisco Morán Cabré (geometria)
Rafael Fernández Sánchez (construção)
Promotor: Instituto Eduardo Torroja
Data: 1969
Localização: Instituto de Ciências da Construção Eduardo Torroja, Madrid

Em 1969, coincidindo com a celebração do Congresso da IASS – International Association for Shell Structures em Madrid, construiu-se no Instituto Eduardo Torroja um monumento ao betão e ao aço. Foi colocado no Pátio dos Alarifes, no mesmo lugar em que Eduardo Torroja havia construído as suas estruturas laminares experimentais em 1959 para receber os participantes do Congresso Internacional em que se criou a IASS.

Por outro lado, nesse mesmo ano a IASS decidiu ampliar a sua missão abrangendo também as novas estruturas espaciais que estavam a ser construídas com outros materiais. A partir deste momento, e apesar de manter sua sigla, passou a denominar-se «International Association for Shell and Spatial Structures». As estruturas laminares de betão armado já não eram rentáveis, a sua razão de ser tinha desaparecido no novo contexto social, económico e tecnológico, embora se continuassem a construir algumas obras insignes em diferentes países, autoria dos últimos protagonistas desta história. Por todas estas razões, foi decidido que o monumento devia consistir numa estrutura laminar e que esta devia servir de instalação para um espaço aberto suscetível de ser utilizado como capela ou para diversos atos comemorativos.

A forma resistente da lâmina foi criada em memória da Pérgula concebida por Eduardo Torroja na margem oeste do Instituto. Adotou, por isso, uma geometria espacial que evocava uma «costela» laminar. Conta com uma espessura de entre 6 e 10 cm na área da cobertura em avançamento e 40 cm na base.



1969
Costela Laminar
Homenagem ao betão e ao aço. Obra concluída e processo de construção no pátio dos Alarifes

«[...] só se mencionam aqui algumas das minhas obras, mas penso que aquelas que se incluíram exemplificam o que perseguia, e o que finalmente consegui.»

Eduardo Torroja, 1958

As estruturas de Eduardo Torroja

Promotor

Fundación Eduardo Torroja

Cessão da Sala

Hipódromo de la Zarzuela S.A.

Patrocínio

Ministerio de Fomento / Dirección General de Arquitectura e CEDEX

Fundación ACS

Ferrovial Agroman

Fundación Banco Caminos

Colaboração

Universidad Politécnica de Madrid

Fundación Juanelo Turriano

SIKA España

Agradecimentos

Em primeiro lugar, quero agradecer à Fundação Eduardo Torroja esta fantástica e entusiasmante incumbência: ser a comissária do Museu Eduardo Torroja e a editora do seu livro-catálogo, cuja versão abreviada foi já publicada em 5 idiomas, dado o interesse internacional na difusão da obra de Eduardo Torroja.

O nosso agradecimento –o da nossa Fundação– não é só para todas aquelas instituições, organismos e fundações que nos ajudaram a fazer deste Museu e este livro-catálogo uma realidade, mas também, concretamente e de um modo muito especial, para todas as pessoas que se envolveram no nosso projeto e nos ajudaram com entusiasmo. Obrigada, portanto, à Faina Zurita, presidente do Hipódromo da Zarzuela, por ter concedido à Fundação o uso da sala do Museu, situado no Hipódromo. Obrigada ao Antonio García Ferrer, vice-presidente da Fundação ACS, quem desde o princípio manifestou o seu entusiasmo pelo Museu Eduardo Torroja e assumiu, de maneira bastante significativa, o seu financiamento. Obrigada à Subdireção Geral de Arquitetura e ao CEDEX do Ministério de Fomento, que não só contribuíram com os seus fundos documentais e maquetes a preencher com conteúdo este museu, mas também partilharam connosco desde o primeiro momento as horas de trabalho, as preocupações e o entusiasmo. O nosso bem-haja, portanto, ao Javier Martín, subdiretor de Arquitetura; Eduardo Aragoneses, chefe da área de Difusão, e à Sara León. Obrigada ao Mariano Navas, diretor-geral do CEDEX, ao Ángel González, à Dolores Romero e ao Javier Plasencia. O nosso agradecimento também ao Instituto de Ciências da Construção Eduardo Torroja pela sua contribuição com documentos do seu arquivo, e especialmente à Virtudes Azorín, à Ángela Blázquez e à Maribel Sánchez Rojas. Obrigada à Fundação Juanelo Turriano, ao seu presidente Victoriano Muñoz Cava e ao seu diretor Bernardo Revuelta, quem, nesta ocasião, financiou a maquete do mercado de Algeciras, uma das obras mais emblemáticas de Eduardo Torroja.

Obrigada aos eminentes e desinteressados autores dos artigos do catálogo: Miguel Aguiló, Carmen Andrade, José Calavera, Hugo Corres, Luís Fernández Galiano, Carmen Jordá, Jerónimo Junquera, Elena Pascual, Javier Manterola, Julio Martinéz Calzón, Fernando Sánchez Dragó, Leonardo Fernández Troyano e Mike Schlaich. Obrigada ao Ángel González Lucas, diretor-geral da SIKA Espanha, empresa que participou no restauro das estruturas laminares do Hipódromo da Zarzuela, sede do Museu, e que cofinanciou a vasta edição deste livro-catálogo. E por último, mas não por isso menos importante, obrigada à nossa Universidade Politécnica de Madrid, à sua reitoria, atual e anterior, e aos senhores Luís Maldonado e Francisco J. Martín, diretores das nossas Escolas Técnicas Superiores de Arquitetura e Engenharia de Caminhos, Canais e Portos, das quais são antigos alunos e/ou professores uma grande parte de todas as pessoas aqui mencionadas, quem, ao longo dos anos e desde as mais diversas instituições e organismos, foram capazes de tecer uma rede dinâmica de produção e difusão da inovação e da sua história.

Pepa Cassinello
Diretora da Fundação Eduardo Torroja

O que é que vale mais, um quilo de pedra ou um quilo de ouro? Com esta pergunta, iniciava Adolf Loos o seu famoso texto sobre materiais de construção. A resposta é simples: se o quilo de pedra pertencer às pirâmides do Egito, ao templo de Abu-Simbel, ao panteão de Roma ou à catedral de Sevilha, não há dúvida de que vale mais do que o quilo de ouro.

Desde a liberdade que o conhecimento cognitivo do mundo que o rodeia lhe oferece, o homem é capaz de transgredir a matéria que dá forma à sua ideia e de a dotar de incalculável valor. Sem dúvida, esta mesma reflexão é aplicável a qualquer material.

Se reformularmos a pergunta inicial com betão em vez de pedra, entre as mais valiosas obras de betão armado e pré-esforçado da história da Engenharia Civil e da Arquitetura encontram-se muitas das realizadas por Eduardo Torroja. Claro que o mesmo ocorrerá, embora em menor grau, se, em vez de nos referirmos a betão armado ou pré-esforçado, nos centrarmos nas obras com tijolo de face à vista, nas estruturas metálicas ou ainda nas mistas. O facto é que Eduardo Torroja é um protagonista atípico da venerável História da Arte Estrutural no marco do Modernismo.

Pepa Cassinello
Comissária
Diretora da Fundação Eduardo Torroja

FUNDACIÓN EDUARDO TORROJA