



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA

Departamento de Composición Arquitectónica

TESIS DOCTORAL

Frei Otto y el Instituto de Estructuras Ligeras de
Stuttgart: una experiencia de metodología,
investigación y sistematización en la búsqueda de la
forma resistente

Presentada por: Juan María Songel González

Dirigida por: Cecilio Sánchez-Robles Beltrán

Valencia, Mayo de 2005

ÍNDICE

I. Introducción.	11
I.1 Consideraciones previas. Estado de la cuestión.	13
I.2 Objetivos, metodología y fuentes.	17
II. La tradición de los ingenieros en la búsqueda de la forma resistente con nuevos materiales a lo largo del siglo XX.	21
II.1 El desarrollo de nuevos materiales a partir de la Revolución Industrial y la nueva profesión de ingeniero civil.	23
II.2 La integración entre estructura y forma y la sensibilidad estética del siglo XX.	25
II.3 Algunos ejemplos de esta tradición.	
II.3.1. Robert Maillart (1872-1940).	31
II.3.2. Eugène Freyssinet (1879-1962).	37
II.3.3. Eduardo Torroja (1899-1961).	41
II.3.4. Eladio Dieste (1917-2000).	46
III. Frei Otto y el Instituto de Estructuras Ligeras de Stuttgart. El desarrollo de una experiencia metodológica e investigadora en la búsqueda de la forma resistente.	55
III.1 Biografía de Frei Otto	63
III.2 Obras y proyectos.	69
III.3 Antecedentes experimentales y metodológicos en la formación de Frei Otto.	88
III.4 Antecedentes del “ <i>Institut für leichte Flächentragwerke</i> ” (IL, Instituto de Estructuras Ligeras) de Stuttgart.	104
III.4.1. El “ <i>Entwicklungsstätte für den Leichtbau</i> ” (EL, Centro para el desarrollo de la construcción ligera) de Berlín	105
III.4.2. El grupo de investigación “ <i>Biologie und Bauen</i> ” (Biología y Construcción).	110

III.5 La fundación del " <i>Institut für leichte Flächentragwerke</i> " (IL, Instituto de Estructuras Ligeras) de Stuttgart.	121
III.5.1. Participación en programas de investigación gubernamentales.	129
III.5.1.1. El programa de investigación SFB 64 " <i>Weitgespannte Flächentragwerke</i> " (Estructuras de grandes luces).	131
III.5.1.2. El programa de investigación SFB 230 " <i>Natürliche Konstruktionen</i> " (Estructuras naturales)	138
III.5.2. La metodología experimental y la búsqueda de la forma resistente: sistematización de los procesos físicos de autogeneración de la forma.	148
IV. Frei Otto y la sistematización de la forma.	167
IV.1 El tamaño absoluto.	173
IV.2 La forma positiva y la forma negativa. Sólidos y cavidades.	175
IV.3 Las dimensiones relativas. Las proporciones.	177
IV.4 Los objetos uni-, bi- y tridimensionales.	179
IV.5 La superficie.	182
IV.6 Mono-, di- y poliedros.	183
IV.7 Las formas compuestas. Partes y elementos.	186
IV.8 La génesis de la forma y los mundos de formas.	188
IV.9 Variabilidad y movilidad de las formas.	193

V. Frei Otto y la sistematización de la estructura.	195
V.1 Clasificación de 1963 / 1964.	199
V.2 Clasificación de 1992.	204
V.2.1. Estructuras unidimensionales.	205
V.2.2. Estructuras bidimensionales o superficiales.	211
V.2.2.1. Estructuras bidimensionales o superficiales traccionadas.	214
V.2.2.2. Estructuras bidimensionales o superficiales comprimidas.	216
V.2.2.3. Estructuras superficiales traccionadas y comprimidas.	217
V.2.2.3.1. Superficies planas	218
V.2.2.3.2. Superficies de simple curvatura	218
V.2.2.3.3. Superficies sinclásticas en forma de cúpula.	218
V.2.2.3.4. Superficies anticlásticas en forma de silla de montar.	218
V.2.2.4. Estructuras superficiales sometidas a flexión.	220
V.2.3. Estructuras tridimensionales.	223
V.2.3.1. Estructuras tridimensionales traccionadas.	224
V.2.3.2. Cavidades.	225
V.2.3.3. Redes tridimensionales traccionadas.	227
V.2.3.4. Estructuras neumáticas.	227
V.2.4. Otras estructuras.	229
V.2.5. Estructuras de la naturaleza.	231
V.2.6. Estructuras de la técnica humana.	232

VI.Frei Otto y la catalogación de nuevos tipos estructurales como exploración gráfica y experimental de nuevas combinaciones y relaciones.	235
VI.1 Las estructuras de redes.	240
VI.1.1. Categorías de la clasificación	241
VI.1.2. Elemento de red "cable".	242
VI.1.3. Elemento de red "punto de suspensión".	243
VI.1.4. Elemento de red "nudo".	243
VI.1.5. Elemento de red "malla".	244
VI.1.6. Elemento estructural "red".	245
VI.1.7. Elemento estructural "borde de red".	250
VI.1.8. Elemento estructural "soporte de red".	252
VI.1.9. Elemento estructural "anclaje".	254
VI.1.10. Formas de redes.	256
VI.1.11. Variaciones, adiciones y combinaciones de redes con formas alabeadas.	259
VI.1.12. Variaciones, adiciones y combinaciones de redes formando superficies onduladas.	260
VI.1.13. Variaciones, adiciones y combinaciones de redes soportadas por arcos.	261
VI.1.14. Croquis de proyectos de sistemas completos de estructuras de redes.	262

VI.2	Las cáscaras o bóvedas de celosía de capa única.	265
VI.2.1.	Antecedentes experimentales desarrollados por Frei Otto y sus colaboradores.	269
VI.2.2.	El pabellón para la " <i>Bundesgartenschau</i> " de 1975 en Mannheim.	276
VI.2.3.	La red de malla uniforme y cuadrada como base para la clasificación y exploración del mundo de las formas de las bóvedas de celosía.	282
VI.2.4.	Los elementos generadores de la forma.	285
VI.2.4.1.	El desarrollo ortogonal.	285
VI.2.4.2.	La suspensión.	286
VI.2.5.	Clasificación de las formas suspendidas.	289
VI.2.5.1.	Redes colgadas verticales.	292
VI.2.5.2.	Redes con borde rígido dividido en dos partes.	294
VI.2.5.3.	Redes con borde rígido abierto.	298
VI.2.5.4.	Redes con borde rígido cerrado.	299
VI.2.5.5.	Redes con borde flexible.	303
VI.2.5.6.	Redes con aristas abiertas.	305
VI.2.5.7.	Redes con aristas cerradas.	309
VI.2.5.8.	Redes con puntos de suspensión interiores.	310
VI.2.5.9.	Redes compuestas.	317
VI.2.5.10.	Redes colgadas con solapes.	318
VI.2.5.11.	Redes extendidas por barras comprimidas.	320
VI.2.5.12.	La catenaria erguida en la red colgada.	325
VI.2.5.13.	El ojo en la red.	326
VI.2.6.	Posibilidades de las bóvedas de celosía para la arquitectura.	328

VII. Conclusiones	347
VIII. Epílogo	359
IX. Bibliografía	381
IX.1 Sobre la relación entre forma y estructura.	383
IX.2 Frei Otto como autor o editor de libros.	388
IX.3 Monografías sobre Frei Otto.	390
IX.4 Publicaciones del " <i>Entwicklungsstätte für den Leichtbau</i> ".	392
IX.5 Publicaciones del " <i>Institut für leichte Flächentragwerke</i> "	394
X. Apéndice documental	399
X.1 Entrevista con Frei Otto.	401
X.2 Entrevista con Jürgen Henniske.	467
X.3 Gespräch mit Frei Otto.	480