

Eco-losas: desarrollo de componentes constructivos más eficientes por análisis topológico y diseño paramétrico.

Eco-slabs: development of more efficient building components by topological analysis and parametric design

Rodrigo Garcia Alvarado

Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile
rgarcia@ubiobio.cl

Oscar Otárola Mardones

Universidad del Bío-Bío, Concepción, Chile
otarola.mardones@gmail.com

ABSTRACT

It exposes a design and construction system for horizontal plates to work as slabs in regular concrete buildings. Based to an evolutionary finite-element analysis of the topological configuration to get a curved design with a 50% reduction of traditional volume, that provide lower cost, less carbon foot-print, better performance and innovative ceiling. A library of profiles is elaborated according different loads, support and dimensions and implemented in a parametric design system, in order to produce geometries for study theirs integration in the building and to elaborate digital fabrication files. Different constructive strategies are been studied, making several prototypes.

KEYWORDS: Losas, Análisis Topológico, Diseño Paramétrico, Fabricación Digital

El diseño de los edificios trabaja normalmente con elementos regulares definidos según los desempeños máximos requeridos. Se establecen componentes estandarizados (muros, losas, vigas, etc.) según las dimensiones totales necesarias para su mayor requerimiento estructural, acústico o térmico. Configurando espacios monótonos con una alta ocupación de materiales y reiteración de formas. Las nuevas tecnologías computacionales permiten analizar el comportamiento específico de los componentes y diseñarlos de acuerdo a sus desempeños particulares, logrando una solución más optimizada y también de mayor diversidad espacial (Meredith et al, 2008). Estos principios se advierten en el desarrollo de las "Eco-losas", un sistema de diseño de placas rectangulares para entresijos de hormigón armado con diseños optimizados topológicamente (configurado a través del proyecto Fondecyt 1100374 y 1120165, con la colaboración del Dr. Patricio Cendoya e Ingeniero Patricio Uarac Pinto de la U. de Concepción).

A partir del análisis estructural por elemento finito de placas rectangulares con parámetros dimensionales y resistentes, que se someten a un proceso evolutivo de cálculo, con extracción y redistribución de material de

acuerdo a los apoyos y cargas definidas. Estableciendo un desempeño al 50% permite alcanzar en sucesivas evoluciones un diseño geométrico optimizado que logra resistencias equivalentes a la placa homogénea pero con la mitad del material requerido. Esto genera una forma compleja que sigue el desarrollo de los esfuerzos

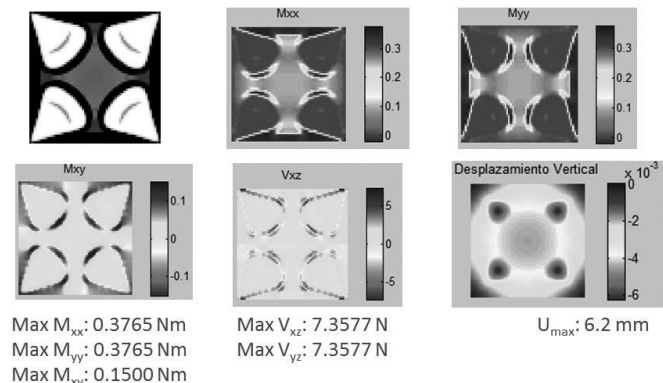


Fig.1. Análisis Topológico de Placas Cuadradas con Apoyo en las Esquinas.

La optimización topológica surgió como un método teórico de análisis estructural a principios del siglo pasado (con el trabajo de Mitchell, 1904), pero

sólo en las últimas décadas se logro implementar matemáticamente a través de procesos computacionales (Bendsøe y Sigmund, 2003; Huang y Xie, 2010). Los primeros métodos de generación recursiva de la forma, denominados ESO (*Evolutionary Structural Optimization*), establecieron procedimientos de análisis por elemento finito y criterios de eliminación (usualmente por rigidez máxima o la tensión de Von Misses), con una función objetivo de término que tiende a maximizar la rigidez y reducir peso, en una evolución progresiva de la geometría. Luego se desarrollo un método, llamado BESO (*Bi-directional Evolutionary Structural Optimization*), que permite tanto eliminar, como agregar material, para mejorar la definición de la forma. También se han caracterizado los métodos con penalización de material isotrópico (de conformación homogénea) denominados SIMP (*Solid Isotropic Material Penalization*), que es mas estable en la búsqueda del óptimo y requiere menor cantidad de iteraciones.

Las aplicaciones constructivas de la optimización topológica estructural, y sus potencialidades arquitectónicas han sido expresadas en algunas obras (Meredith et al, 2008, Ohmori, 2008, Xie et al. 2011), pero no se han extendido procedimientos o elementos generales. Se han realizado algunas experimentaciones digitales de componentes estructurales, en particular en losas (por Dombernowsky, P. y A. Sondergaard, 2009), aunque no se han comprobado materialmente, pero revelan significativas capacidades expresivas y de variación espacial. Esta experiencia de las eco-losas plantea una estrategia de desarrollo general a través de patrones dimensionales, analizando placas modulares, cuya configuración evolutiva, a través de la matriz de esfuerzos y la imagen gráfica es incorporada en un sistema de diseño paramétrico (Grasshopper en Rhinoceros, con una rutina de transferencia elaborada por José Miguel Hernández). Con el fin de controlar la variación según distintas condiciones de tamaño, apoyo, carga y materialidad, así como producir la geometría tridimensional y generar archivos para fabricación digital.

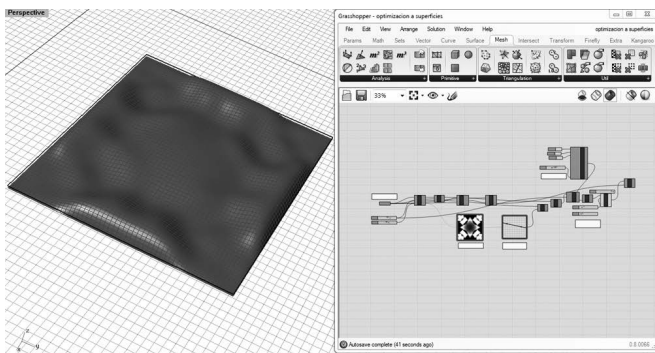


Fig.2. Diseño Paramétrico de la Volumetría

El desarrollo se debe complementar con la definición constructiva, de enfierraduras y moldajes. Estableciendo módulos paramétricos en el edificio, cuya mayor ligereza

implican por un lado, menores solicitaciones generales a la estructura, aliviando fundaciones y otros elementos verticales, que para un país sísmico son altamente relevantes para la funcionalidad, costo y plazos de ejecución. Por otro lado, reducen significativamente la huella de carbono del edificio.

La ejecución material se ha experimentado con diversas técnicas de fabricación digital (García Alvarado, 2011), desarrollando en particular el rebaje con CNC sobre paneles de poliestireno expandido y madera prensada. Utilizados luego como moldes negativos para el vaciado de mezclas cementicias, para elaborar prototipos a escala de las losas.

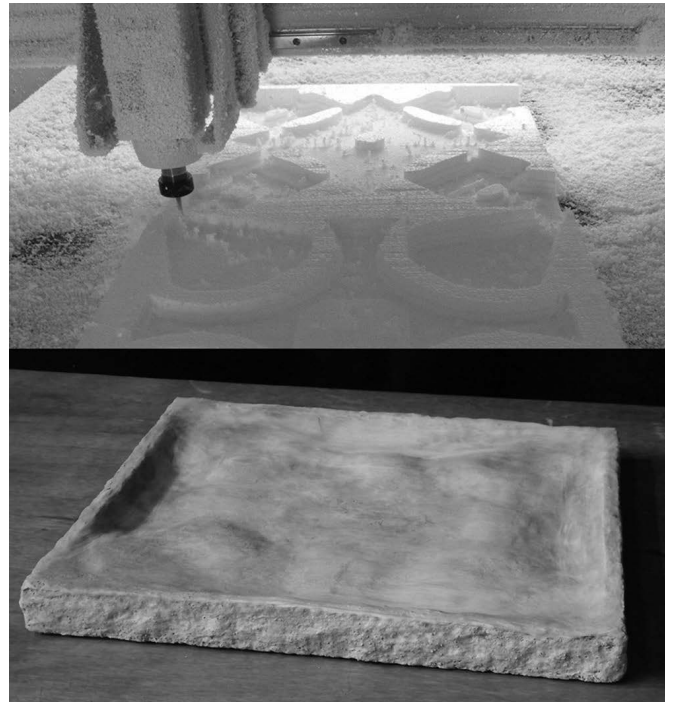


Fig.3. Fabricación Digital de Prototipos (poliestireno y hormigón)

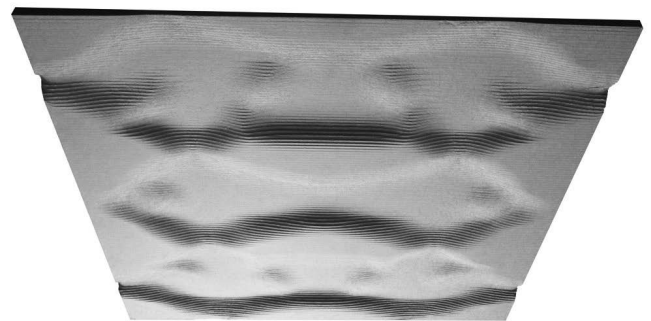


Fig.4. Modelo en Madera Prensada de Losa Rectangular con Cargas Intermedias.

El diseño paramétrico de los elementos analizados topológicamente permiten controlar la volumetría variable con mallas curvas. De modo de generar distintos procedimientos y dimensiones de ejecución. Así como también experimentar la configuración general del edificio en modelos digitales y visualizar las condiciones

espaciales generadas en el tratamiento superior de los recintos.

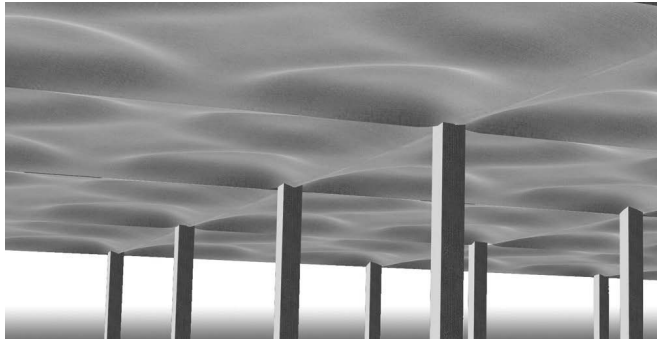


Fig. 5. Visualización de Losas Optimizadas en Edificio con Trama Regular de Columnas.

Las losas desarrolladas logran un desempeño estructural similar a las convencionales con la mitad del volumen, esto implica una importante reducción de costos en material (especialmente de hormigón), aunque naturalmente la ejecución de moldajes más complejos puede incrementar los gastos de esta actividad y reducir el beneficio económico (aunque en su masificación y estandarización pueden progresivamente ir mejorando esta ventaja). Sin embargo el principal beneficio constructivo por la reducción de material, es la rebaja de peso que implica, ya que las losas constituyen prácticamente la mitad de la obra gruesa central de una edificación y por ende, disminuir su masa, redundando en que los restantes elementos estructurales, especialmente las fundaciones pueden reducirse de manera equivalente, logrando edificios significativamente más ligeros y eficaces. Además, esta disminución general de la estructura implica que la huella de carbono de la construcción se rebaja sustancialmente, ya que el hormigón es el principal material de ejecución y usualmente involucra un alto consumo de recursos fósiles en su elaboración, transporte e instalación. De modo que esta solución puede rebajar considerablemente el impacto ambiental de las obras de edificación, generando una construcción más amigable con el medio ambiente. Por otro lado, el tratamiento curvo de los cielos puede quedar oculto de manera convencional tras cielos falsos, pero también permanecer a la vista, utilizando su configuración en un sentido arquitectónico para cualificar los espacios, reducir la reverberación acústica y lumínica. Incluso, los trazados de instalaciones superiores, que suelen justificar la utilización de cielos colgantes con paneles modulares, se puede ejecutar a partir de las regularidades curvas, combinando el despliegue de redes y elementos en las ondulaciones. Cuando usualmente el cielo modular se aplica precisamente para nivelar las irregularidades constructivas de las losas de entrepiso, pero luego vuelve a ser interrumpido con distintos artefactos y dispositivos. Dejar estas losas ondulantes permite reducir un elemento oneroso de la construcción, mayormente artificial e importado (y

por ende aminorando más la huella de carbono de la obra), mejorando el desempeño sonoro y otorgando una variación estética al acontecer espacial en el edificio. Constituyéndose de este modo, en un componente innovador que genera ventajas económicas, ambientales y expresivas en las construcciones.

Esta experiencia ilustra una estrategia de desarrollo de componentes constructivos, con ventajas técnicas y económicas, como también novedosas posibilidades espaciales.

Referencias

- Bendsøe, M. P. y O. Sigmund, 2003, *Topology Optimization Theory, Method and Applications*, Springer Verlag, Berlín.
- Huang, X. y Xie, H. M. , 2010, *Evolutionary topology optimization of continuum structures*. Wiley. Chichester
- Dombernowsky, P. y A. Sondergaard, 2009. Three-dimensional topology optimisation in architectural and structural design of concrete structures. *Proceedings of the International Association for Shell and Spatial Structures (IASS) Symposium*. Valencia. España.
- García Alvarado, R. 2011; Fabricación digital de modelos constructivos: análisis de equipos y procesos, *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, núm. 59, junio, 2011, pp. 145-157
- Meredith M.; Aranda, Sasaki; M. 2008, *From Control to Design. Parametric/Algorithmic Architecture*. Actar, Barcelona.
- Michell, A. G. M., 1904 The limit of economy of material in frame structures. *Philosophical Magazine*. 8(6). 589-597.
- Ohmori, H. 2008, Computational Morphogenesis: Its Current State and Possibility for the Future. *Proceeding of the 6th International Conference on Computation of Shell and Spatial Structures*. New York. United States of America.
- Xie et al. 2011, Architecture and Urban Design through Evolutionary Structural Optimisation Algorithms, en *ALGODE 2011*, Tokio.