

# Botterfold, cubierta celosía autosoportante

## *Botterfold, self-supporting sun break cover*

**Carlos Castro**

Universidad Técnica Federico Santa María, Chile  
Charly\_ccg@hotmail.com

**Juan Ignacio Vega**

Universidad Técnica Federico Santa María, Chile  
inakiv@gmail.com

**Tristán Al-haddad**

Georgia Institute of Technology, USA  
Tristan.al-haddad@arch.gatech.edu

**Abstract:** *Botterfold is a reflective self-supporting mono component sun break cover that research the architectural design and materialization using digital technologies of parametric modeling and fabrication. Its structure is made up of 1200 differentiated aluminum components milling, folded, assembled and riveted. It is designed in Grasshopper plug-in for Rhinoceros 3d modeling. It generates a responsive definition to the variation of: global geometric control surface, sun position and visual cones. The principal component has the origin in the folding carton exploration, its proliferations and qualitative formal emergencies.*

**Palabras claves:** fabricación digital; diseño paramétrico; CAD/CAM; monomaterial; monocomponente.

## Introducción

Botterfold, es el resultado de un proceso de investigación y exploración de diseño, fabricación y construcción de un proyecto arquitectónico, informado a través de emergencias geométricas, contexto, materialidad y tecnologías de diseño y fabricación digital. Variables integradas mediante herramientas de diseño paramétrico, que proveen múltiples posibilidades de variación y adaptación formal del proyecto por su flexibilidad de incorporar geometrías complejas y no estandarizadas en el proceso de diseño. Botterfold fue diseñado en el taller *Precise Parametrics Permutations*, impartido en la Universidad Técnica Federico Santa María, Chile. Este se realizó en el año 2009 por el Arquitecto Profesor Becario *Fulbright* Tristán Al-Haddad, en colaboración del Arquitecto USM Carlos Castro.

*“Technology has always been an active agent present within architectural practice and theoretical discourse acting either consciously or subconsciously. Advances in mathematics, manufacturing, descriptive geometry and countless other disciplines have driven many, if not most, of the major paradigmatic movements within architectural history. Digital*

*technologies are now empowering young architects with an explosion of geometric and spatial possibilities; possibilities that would have previously been nearly impossible to describe [draw] and realize [build].” (Tristán Al-haddad, 2009, 2)*

## Geometría

Una serie de ejercicios formales análogo-digital convergen en el desarrollo de una unidad básica plegada. El plegado otorga volumen a la geometría y disminuye los puntos de unión-falla. La configuración de cuatro de estas unidades, conectadas mediante sus vértices, crean una estructura auto soportante concebida como un monocomponente (Botterfold), cuya opacidad e inercia estructural varían gradual y, directamente proporcional según el ángulo interno de los pliegues. El perímetro exterior construye un área de unión entre éstos a través de cuatro polígonos romboidales (Fig.1 y Fig.2).

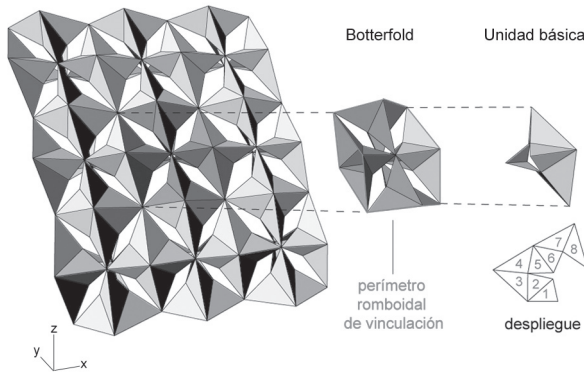


Fig. 1. Vista en perspectiva. Izquierda, lógica de conexión entre monocomponentes. Centro, monocomponente y perímetro de unión. Derecha, unidad básica y despliegue.

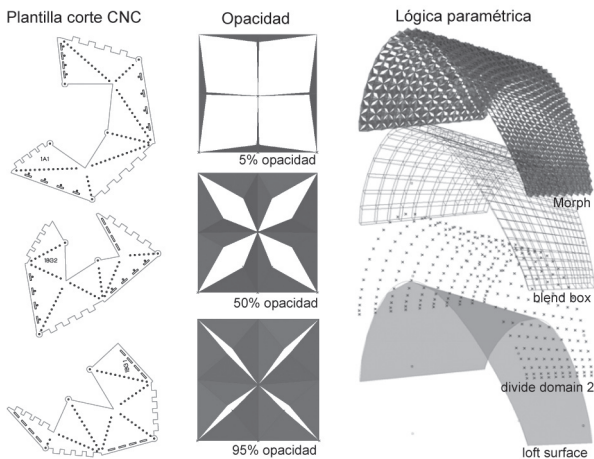


Fig. 2. Izquierda, plantilla de corte de unidad básica desplegada. Centro, variaciones de opacidad de monocomponente. Derecha, lógica modelo paramétrica.

### Materialidad

Para construir Butterfold en escala 1:1, el cartón, utilizado para prototipar e experimentar previamente, debe ser transpuesto a un material de mayor rigidez, plegable y admisible para la fabricación por *router CNC*. Para esto se establece el aluminio en planchas de 0,8 [mm] de espesor como material definitivo. Material liviano, dúctil, resistente a la corrosión, reflectante ante radiación electromagnética del espectro visible y buen disipador de calor. El comportamiento reflectante se integra como nueva cualidad arquitectónica al proyecto: revelando la estructura mediante destellos, y aminorando la temperatura interna del espacio cubierto (Fig.3)

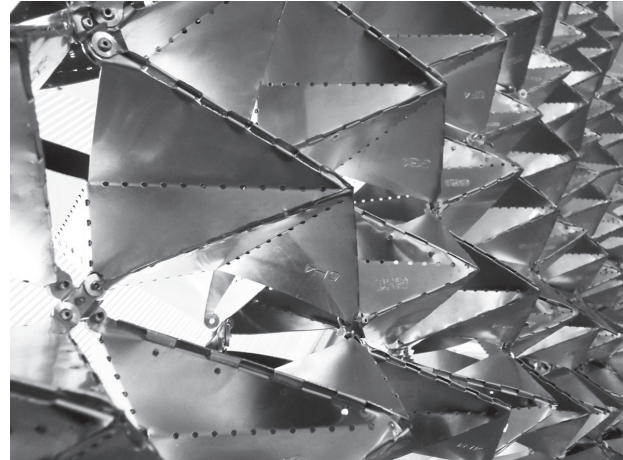


Fig. 3. Sección real de instalación escala 1:1. Detalles de uniones y código de clasificación.

### Contexto/Emplazamiento

El lugar escogido se sitúa dentro del campus Casa Central de la UTFSM. El lugar corresponde al descanso entre 2 escaleras del acceso principal oeste a la Universidad, en lo alto del cerro Los Placeres (Fig.4). Este recorrido, de 102 peldaños, conecta una diferencia de altura (aprox. 20 [m]) entre una vía trocal urbana y la universidad, además es altamente transitado. La geografía del lugar presenta laderas escarpadas orientadas al norponiente. En los meses de primavera y verano, el recorrido suele ser bastante tortuoso, lo que origina la idea conceptual de construir una superficie traspasable que sombree, incite la pausa, el descanso y la contemplación del océano pacífico cercano.

### Modelo Paramétrico

Se programa una definición formal en Grasshopper® (*plug-in de diseño generativo para Rhinoceros®*), que distribuye por grados de opacidad los Butterfold sobre una superficie. Se establecen dos conjuntos de variables en el modelo paramétrico para controlar la geometría global y local del proyecto, estas son:

Variables Globales: métrica contextual (MC), altura central (AC). Función: Determinar geometría de control de superficies.

Variables Locales: Incidencia solar (IS) y cono visual (CV). Función: Determinar opacidad de los butterfold (Fig.2).

La definición paramétrica (Fig.2) opera desfasando una superficie inicial (*loft surface*), luego ambas son divididas en una grilla de puntos U,V. (*divide domain<sup>2</sup>*). Dentro de la cuadrícula de la grilla son insertadas cajas deformadas (*blend box*) que son rellenas con Butterfold de distin-

tos grados de opacidad (*Moprh*), adaptándolos formalmente según la geometría propia de cada caja.

### Lógica sistémica

La Fig. 4, muestra una vista en alzado del proyecto, graficando las variables descritas a continuación: (MC) determina medidas que definen puntos de apoyo de la estructura. Una línea basal en el costado del descanso entre las escaleras, un punto en el pilar de la baranda, además otro punto en un peldaño de la escalera superior.

(AC), determina la altura central de la bóveda en 2,40 m.

(IS), determina un gradiente de opacidad, en los Botterfold, que se intensifica en el enfrentamiento perpendicular al vector de soleamiento del solsticio de verano, para garantizar mayor sombra en los periodos de mayor calor y soleamiento. (CV), determina un gradiente de opacidad en los Botterfold que disminuye hacia el enfrentamiento perpendicular de la dirección del cono visual orientado hacia el océano pacífico.

(IE), determina una inercia estructural más robusta para la base y más ligera en la parte superior de la superficie.

(MC)+(AC), definen un total de 6 puntos cartesianos que controlan 2 curvas interpoladas, cada una con 3 puntos de control geométrico.

(IS)+(CV) determinan 2 puntos de atracción generativos de diferenciaciones geométricas globales graduales en la estructura, a partir de diferenciaciones geométricas locales en los componentes.

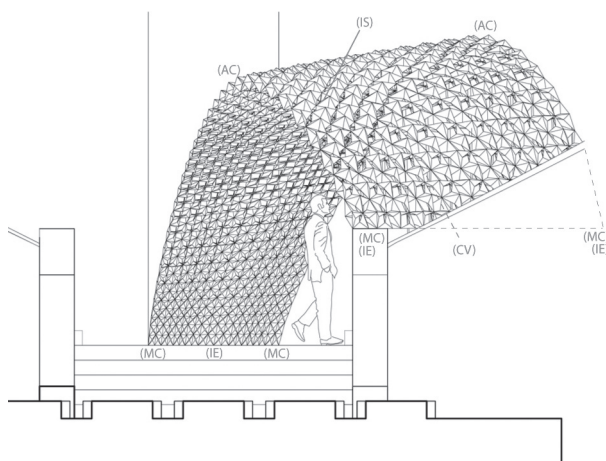


Fig.4. Vista en alzado. Diagrama de variables.

### Fabricación Análoga/digital

La totalidad de la estructura se descompone en 1200 piezas laminares plegables. Previo al proceso de fabricación, es necesario programar tres definiciones en Grasshopper® y una en Visual basic Script for Rhinoceros®, utilizadas para: desplegar las 1200 piezas e incorporar

detalles constructivos necesarios para los procesos de plegado (Fig.2), ensamble, remache e identificación mediante un código único de clasificación grabable en cada pieza (Fig.3). Este proceso permite generar los 1200 dibujos bidimensionales, que son ordenados en plantillas de corte de 1,10 x 2,40 metros (ancho material x largo máximo router) utilizando la herramienta Rhinonest®, el cual se encarga de optimizar el uso de material, distribuyendo los patrones de corte con la menor distancia admisible por el diámetro de la fresa. Posteriormente cada plantilla es ingresada a RhinoCam® para programar el proceso de fresado según layers de control de los dibujos, definiendo: velocidades de corte, profundidades de fresado, diámetros y tipos de herramientas y orden de ejecución de procesos.

### Construcción

Conector de 4 vértices (Fig.3): Los Botterfold se vinculan entre sí por sus vértices, generando uniones cuádruples que dificultan el armado. Para resolver el cuádruple encuentro de vértices entre componentes, se diseña un conector universal en base a dos segmentos perforados en sus extremos y remachados centralmente a modo de rótula. Este conector en conjunto a la ductilidad del aluminio, toleran la imprecisión del plegado manual.

Una vez fresadas las piezas, se procede con el siguiente orden:

- Fase 01: cada pieza es plegada y ensamblada con su par correspondiente.
- Fase 02: los componentes de la fase uno, son remachados en filas horizontales.
- Fase 03: las filas son remachadas longitudinalmente construyendo vigas (Fig.5).
- Fase 04: las vigas son remachadas longitudinalmente construyendo paneles (Fig.5).
- Fase 05: los paneles son remachados formando Botterfold (Fig.6)

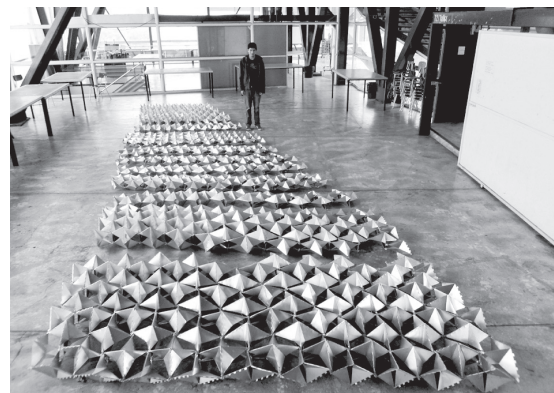


Fig.5. Construcción. Fase 03 y Fase 04.

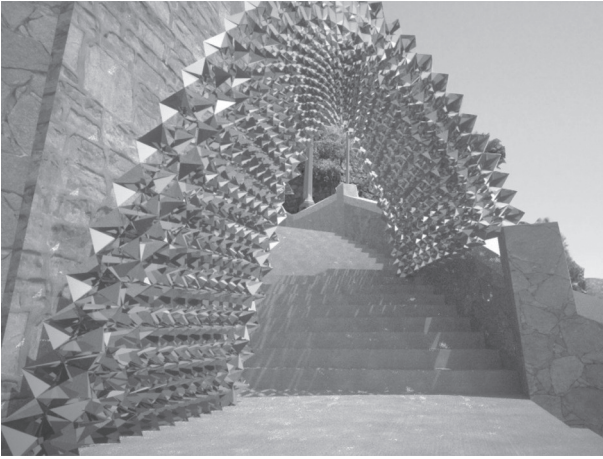


Fig.6. Vista en perspectiva. Render Proyecto Botterfold.

## Conclusiones

Resolución formal v/s tiempo y costos: en el modelo paramétrico, la cantidad de subdivisiones (número de U y V) son variables que permiten determinar al grano de resolución poligonal de la cuadrícula tridimensional emergente. Por lo tanto, a mayor cantidad de U y V, mayor resolución de la curvatura superficial, por una mayor cantidad de cajas de menor tamaño. Considerando la tendencia hacia la mayor resolución, una mayor cantidad de cajas implica a la vez una mayor cantidad de piezas, lo que significa piezas más pequeñas y de mayor dificultad constructiva. Conjuntamente: más horas de *nesting* (ordenamiento computacional de plantillas de corte), más horas de corte, grabado de textos y perforaciones, más ejes de plegado, más remaches, más retazos materiales. Por ende más horas de armado y mayor costo de la construcción. Si bien, una mayor resolución formal, otorga una mayor belleza en la estructura por: una mayor definición de curvatura, un tamiz solar más fino y una reflectividad lumínica mayor, provoca consecuencias constructivas y presupuestarias, que son determinantes en el momento de definir y materializar el proyecto.

Tolerancia de errores: las imprecisiones geométricas añadidas por el plegado y ensamble manual, son toleradas por la ductilidad del aluminio y la movilidad del conector rotulado. A la vez, son mimetizadas globalmente por la redundancia de 300 Botterfold y el comportamiento lumínico reflectante, desatado entre las múltiples direcciones de los polígonos de aluminio versus la variación activa de la trayectoria solar.

Clima: La múltiple dirección de planos de aluminio de la cubierta celosía, permite reflejar los rayos solares, disminuyendo la absorción de calor por parte del metal. Sumado a la sombra que la estructura proyecta y regula median-

te grados de opacidad, Botterfold es capaz de aminorar la temperatura interna del espacio cubierto y de resaltar exteriormente a través de los dinámicos destellos solares.

La utilización de sistemas monocomponentes y monomaterial, facilitan las tareas de fabricación permitiendo aplicar procesos repetitivos. Como fue el caso de Botterfold, específicamente la programación de rutinas del *router CNC*, para fresar 50 planchas de aluminio, sólo fue necesario realizar una programación, que fue utilizada para todas las planchas. Y en términos constructivos, para armar 1200 piezas correspondientes a 300 Botterfold, sólo se utiliza una secuencia de operaciones repetitiva.

Mediante la fabricación digital y el modelado paramétrico, es posible diseñar formas de alta complejidad, sintetizadas en una estructura, un material y múltiples cualidades arquitectónicas.

Las herramientas digitales, pueden informarse de modelos materiales análogos para descubrir comportamientos propios de la materialidad difícilmente predecibles. Estos comportamientos abren la riqueza del campo experimental, posibilitando la racionalización de modelos digitales de control geométrico arquitectónico programable. Posteriormente su fabricación y construcción arroja nuevas emergencias, propias de la manipulación análoga del material y su sometimiento a esfuerzos reales del ambiente. Por lo tanto, son las emergencias no preconcebidas, las que permiten desarrollar y complejizar un proceso de diseño generativo.

## Equipo

Diseño: Kurt Buchwald, Victoria Fernández, Jonatan Gaete, Gonzalo Herreros, María José Huerta, Victor Imperiale, Juan Ignacio Vega.

Fabricación: Carlos Castro, Oscar Palominos, Juan Ignacio Vega.

## Agradecimientos

Universidad Técnica Federico Santa María.

Fullbright Commission

Maquimetal, auspiciador aluminio.

Alumnos Departamento de Arquitectura UTFSM.

## Referencias

- Al-haddad, T. 2009. *Precise Parametric Permutations*. UTFSM.