

Zigzags for Greener Construction

Research by Eidgenössische Technische Hochschule (ETH) Zürich Professor Philippe Block's team has shown that it is possible to achieve structural stability while using less concrete and steel. One of the Block Research Group's (BRG) projects is vaulted floor elements made of concrete. Through clever geometry, these floors achieve thinner sections than their conventional counterparts and do not require any embedded steel reinforcement.

Considering Sustainability at the First Production Step

Vaulted floors need a formwork system—molds that provide the placed concrete its shape. However, formwork can be bulky and is often made from petroleum-based materials. Moreover, formwork for nonstandard geometry is typically single-use, and its manufacturing process creates substantial waste. “Unfortunately, this cancels out some of the sustainability gains,” explained Lotte Scheder-Bieschin, Architecture PhD Student at the BRG, ETH Zürich, Zürich, Switzerland. She developed a lightweight and foldable formwork system that can be reused and requires fewer resources to produce. Known as Unfold Form, this system is easy to fabricate, transport, and use, which is efficient for the construction industry and can be helpful in regions with limited resources.

Massively Reducing Concrete and Steel Use

Unfold Form consists of thin, flexible plywood strips that are connected by textile hinges and can be unfolded like a fan. Four of these compact units can be rapidly assembled within a wooden frame to create a sturdy, zigzag-shaped mold onto which concrete can be placed directly.

After the concrete cures, the formwork can be easily detached from underneath, folded away, and stored for its next use. While the unfolding system used for the prototype weighs just 24 kg (53 lb), it can support up to a tonne (1.1 ton) of concrete.

“I was looking for a solution that would allow me to use strength through geometry not only to optimize the final structure but also the formwork itself,” Scheder-Bieschin said.



Through clever geometry, these vaulted floors achieve much thinner sections than their conventional counterparts and do not require any embedded steel reinforcement



A plywood sheet is cut into individual curved strips



Textile layers are applied to one side of the strips to connect them

Tech Spotlight

“This approach reduces material usage and makes the entire process more environmentally friendly.” The formwork’s distinctive geometric structure allows for reductions of up to 60% in concrete and 90% in steel reinforcement.



Four folded formwork sections are ready for deployment



The plywood strips can be unfolded like a fan on site, causing them to bend into shape



The four individual parts are joined to create the formwork, which has the capacity to hold up to a tonne (1.1 ton) of concrete

“The Unfold Form can be produced and assembled without specialized knowledge or high-tech equipment,” Scheder-Bieschin noted. One of her aims was to create a simple and robust system that could be used worldwide, even with limited resources. Formwork for nonstandard concrete shapes typically requires digital fabrication. “This creates barriers for sustainable concrete construction in rapidly urbanizing regions, where the need for new buildings is especially high,” she said.

The formwork can be produced cheaply. “The only things needed in addition to the materials are a template for the shape and a stapler,” Scheder-Bieschin added. The materials cost only 650 Swiss francs (at the time about 780 USD) in total.

Zigzag Ridges Like Seashells

During development, Scheder-Bieschin applied her expertise in bending-active structures. This technique involves bending elastic materials like thin and long splines or plates of wood, where the resulting deformation creates stability and allows for curved, lightweight structures.

A key feature of Unfold Form is the zigzag-like arrangement of wooden strips. “This ribbing provides additional stiffness without significantly increasing the overall weight,” Scheder-Bieschin explained. “You can find such articulated structures in nature, like in seashells.”

The zigzag pattern strengthens both the formwork and the concrete placed onto it: “The concrete incorporates this design into a structural rib pattern, which assists in load transfer.”

Strength through Curvature

The interaction between the individual strips is crucial for the formwork’s stability, Scheder-Bieschin explained: “When you bend a single strip or plate, it becomes very wobbly when loaded, and it’s difficult to control which shape the board will bend into.” However, when you connect two strips along a curved edge, you achieve much higher rigidity. “Under load, the strips deform minimally, and you can control the final shape through the design of these connection curves,” she said. This technique, called curved-crease folding (CCF), has been around for some time and draws its inspiration from the art of origami.

Folding in general consistently progresses from larger to smaller sizes, beginning with a flat element that is gradually reduced through the folding process. This makes the folding technique unsuitable for use in construction. “Consider a vaulted concrete floor measuring 2 x 3 m [6.6 x 9.8 ft]—the starting plate would need to be approximately 3 x 5 m [9.8 x 16.4 ft]. From a transport perspective, this is of course highly impractical,” Scheder-Bieschin pointed out.

From Paper Model to Concrete Prototype

Scheder-Bieschin was intrigued by the challenge of adapting this simple CCF system for architectural purposes. She experimented with paper models at her desk, eventually devising a system that she calls curved-crease unfolding: “At some point, I started gluing the pieces together differently. And that’s how I found a system that starts out as a stacked shape that can be fanned out—just like a hand fan. And at the same time, the curved shape is achieved.”

The next challenge was to move from a thin sheet of paper to a structural material of a certain thickness. Scheder-Bieschin solved this with the help of textile hinges.

She then developed a computer method for the simulation. “The initial prototypes already validated my concept,” she recalled. “Using simple two-dimensional prefabrication, I could create folded, compact panels that unfold easily and have the required rigidity to support concrete.”

Real-Life Test in South Africa

In addition to the final 3 x 1.8 m (9.8 x 5.9 ft) prototype, which is located in the Robotic Fabrication Laboratory (RFL) on the ETH Zürich Höggerberg campus, a twin concrete structure exists in South Africa. It was built using the same formwork. Mark Hellrich, a scientific assistant and contributor to the Unfold Form project, transported the folded formwork to Cape Town using two surfboard bags. Working together with nonCrete, a local firm dedicated to sustainable construction and affordable housing solutions, they cast the second prototype.

This demonstrated three things at once: The formwork system can be reused without any loss of quality, it is easy to transport, and it works with different types of concrete. nonCrete used its bio-concrete based on shredded invasive vegetation from the area. “This shows that premium-grade concrete isn’t necessary for creating sturdy floors with the new formwork,” Scheder-Bieschin noted.

“The goal is to use this innovative formwork system to construct high-quality, dignified, and sustainable housing.”

Future Commercialization

Initially planned for low-resource settings, the system has attracted international interest—particularly from construction companies and architects interested in its aesthetics, cost-efficiency, and carbon-saving properties. Thus, after completing her doctorate, the researcher will continue developing her technique as a postdoc at ETH Zürich, with plans to bring her product to market.

For more information, visit <https://brg.ethz.ch/research/prototypes/838>.

Selected for reader interest by the editors.



The concrete is placed directly onto the formwork. Once it has cured, the formwork can be removed from underneath



A structure after removal of the Unfold Form

Photos courtesy of Lotte Scheder-Bieschin/ETH Zürich, BRG

Advertise



For more information, contact

Dan Kaste, Account Executive

Email: dan.kaste@wearemci.com

MCI USA: +1.410.584.8355



Zigzags para Construcción Sostenible

La investigación realizada por el equipo del Profesor Philippe Block, de la Escuela Politécnica Federal de Zúrich (Eidgenössische Technische Hochschule, ETH Zürich), ha demostrado que es posible alcanzar estabilidad estructural utilizando menores cantidades de concreto y acero. Uno de los proyectos desarrollados por el Grupo de Investigación Block (Block Research Group, BRG) consiste en elementos abovedados de entrepiso contruidos en concreto. Gracias a una geometría optimizada, estos entrepisos logran secciones más delgadas que las de los sistemas convencionales y no requieren acero de refuerzo embebido.

Sostenibilidad desde la Primera Etapa de Producción

Los techos abovedados requieren un sistema de encofrado, es decir, moldes que permiten dar forma al concreto una vez colocado. No obstante, los encofrados convencionales pueden ser voluminosos y, con frecuencia, están fabricados a partir de materiales derivados del petróleo. Además, cuando se trata de geometrías no estándar, estos sistemas suelen ser de un solo uso, y su proceso de fabricación genera una cantidad considerable de residuos. “Lamentablemente, esto anula parte de los beneficios en sostenibilidad”, explicó Lotte Scheder-Bieschin, estudiante de doctorado en arquitectura del BRG, ETH Zürich, Suiza. Scheder-Bieschin desarrolló un sistema de encofrado ligero y plegable que puede reutilizarse y requiere menos recursos para su fabricación. Este sistema, denominado Unfold Form, es fácil de fabricar, transportar y utilizar, lo que lo convierte en una alternativa eficiente para la industria de la construcción y particularmente útil en regiones con recursos limitados.



Mediante una geometría eficiente, estos pisos abovedados logran secciones considerablemente más delgadas que las de sus equivalentes convencionales y no requieren acero de refuerzo embebido.



Una lámina de madera contrachapada se corta en tiras individuales con curvatura.

Reducción Sustancial del Uso de Concreto y Acero

Unfold Form está compuesto por tiras delgadas y flexibles de madera contrachapada, unidas entre sí mediante bisagras textiles, que pueden desplegarse en forma de abanico. Cuatro de estas unidades compactas pueden ensamblarse rápidamente dentro de un marco de madera para crear un molde resistente con geometría en zigzag, sobre el cual se puede verter directamente el concreto.

Una vez que el concreto ha fraguado, el encofrado puede retirarse fácilmente desde la parte inferior, plegarse y almacenarse para su reutilización. Aunque el sistema de despliegue empleado en el prototipo pesa únicamente 24 kg, tiene la capacidad de soportar hasta una tonelada de concreto. “Buscaba una solución que me permitiera utilizar la resistencia mediante la geometría, no solo para optimizar la estructura final, sino también el propio sistema de encofrado”, explicó Scheder-Bieschin. “Este enfoque reduce el uso de materiales y hace que todo el proceso sea más respetuoso con el medio ambiente.” La estructura geométrica distintiva del encofrado permite reducir hasta un 60 % el uso de concreto y hasta un 90 % el uso de acero de refuerzo.

“El sistema Unfold Form puede fabricarse y ensamblarse sin necesidad de conocimientos especializados ni equipos tecnológicos avanzados”, señaló Scheder-Bieschin. Uno de sus objetivos era crear un sistema simple y robusto que pudiera utilizarse en todo el mundo, incluso en contextos con recursos limitados. Generalmente, el encofrado para geometrías no estándar en concreto requiere de procesos de fabricación digital. “Esto genera barreras para una construcción sostenible con concreto en regiones que se urbanizan rápidamente, donde la demanda de nuevas edificaciones es especialmente alta”, indicó. El encofrado puede producirse a bajo costo. “Además de los materiales, lo único necesario es una plantilla con la forma deseada y una engrapadora”, añadió Scheder-Bieschin. El costo total de los materiales fue de apenas 650 francos suizos (aproximadamente 780 dólares estadounidenses en ese momento).

Nervaduras en Zigzag Inspiradas en Conchas Marinas

Durante el desarrollo del sistema, Scheder-Bieschin aplicó su conocimiento en estructuras activadas por flexión (bending-active structures). Esta técnica consiste en doblar materiales elásticos, como listones delgados y alargados o láminas de madera, de modo que la deformación resultante genere estabilidad estructural y permita la construcción de formas curvas y livianas.

Una característica fundamental del sistema Unfold Form es la disposición en zigzag de las tiras de madera. “Esta configuración tipo nervadura proporciona una rigidez adicional sin incrementar significativamente el peso total”, explicó Scheder-Bieschin. “Estructuras articuladas como esta pueden observarse en la naturaleza, por ejemplo, en las conchas marinas”.

El patrón en zigzag refuerza tanto el encofrado como el concreto colocado sobre él: “El concreto incorpora este diseño formando un patrón estructural de nervaduras, lo cual facilita la transferencia de cargas”.

Resistencia a Través de la Curvatura

La interacción entre las tiras individuales es fundamental para la estabilidad del encofrado, explicó Scheder-Bieschin: “Cuando se dobla una sola tira o placa, esta se vuelve muy inestable bajo carga, y resulta difícil controlar la forma que adoptará”. No obstante, al conectar dos tiras a lo largo de un borde curvo, se logra una rigidez considerablemente mayor. “Bajo carga, las tiras se deforman mínimamente, y es



Se aplican capas textiles en uno de los lados de las tiras para unir las entre sí.



Cuatro secciones de encofrado plegadas están listas para su despliegue.



Las tiras de madera contrachapada pueden desplegarse en el sitio como un abanico, adoptando por sí solas la forma curvada deseada.

posible controlar la forma final mediante el diseño de estas curvas de conexión”, señaló. Esta técnica, conocida como curved-crease folding (plegado con pliegue curvo), tiene antecedentes en el arte del origami y ha sido explorada anteriormente en aplicaciones de diseño.

El plegado, en términos generales, avanza de elementos de gran tamaño hacia formas más pequeñas, comenzando con una pieza plana que se va reduciendo progresivamente mediante el proceso de plegado. Esta característica hace que la técnica sea poco adecuada para la construcción.



Las cuatro partes individuales se ensamblan para formar el encofrado, el cual tiene la capacidad de soportar hasta una tonelada (1,000 kg) de concreto.



Estructura después de retirar el sistema Unfold Form.

“Considérese, por ejemplo, un piso de concreto abovedado de 2 × 3 metros [6.6 x 9.8 pies]; la placa inicial tendría que medir aproximadamente 3 × 5 metros [9.8 x 16.4 pies]. Desde la perspectiva del transporte, esto es claramente poco práctico”, advirtió Scheder-Bieschin.

Del Modelo de Papel al Prototipo de Concreto

Scheder-Bieschin se sintió intrigada por el reto de adaptar este sistema simple de curved-crease folding (CCF) para fines arquitectónicos. Comenzó realizando experimentos con modelos de papel en su escritorio, hasta que finalmente ideó un sistema que denominó curved-crease unfolding: “En cierto momento, empecé a pegar las piezas de forma distinta. Así fue como descubrí un sistema que parte de una forma apilada que puede desplegarse, como un abanico de mano, y al mismo tiempo adopta una geometría curva”.

El siguiente desafío consistió en pasar de una hoja delgada de papel a un material estructural con un espesor adecuado. Scheder-Bieschin resolvió esto mediante la incorporación de bisagras textiles.

Posteriormente, desarrolló un método computacional para simular el comportamiento del sistema. “Los primeros prototipos ya confirmaban la validez de mi concepto”, recordó. “Mediante una prefabricación bidimensional simple, pude crear paneles plegados y compactos que se desplegaban fácilmente y contaban con la rigidez necesaria para soportar el concreto.”

Prueba en Condiciones Reales en Sudáfrica

Además del prototipo final de 3 × 1.8 m (9.8 x 5.9 pies), ubicado en el Laboratorio de Fabricación Robótica (Robotic Fabrication Laboratory, RFL) del campus Höggerberg de ETH Zürich, existe una estructura gemela construida en Sudáfrica, utilizando el mismo sistema de encofrado. Mark Hellrich, asistente científico y colaborador del proyecto Unfold Form, transportó el encofrado plegado hasta Cape Town utilizando dos bolsos para tablas de surf. En colaboración con nonCrete, una empresa local dedicada a la construcción sostenible y a soluciones habitacionales accesibles, se moldeó el segundo prototipo.

Esta experiencia demostró simultáneamente tres aspectos clave: el sistema de encofrado puede reutilizarse sin pérdida de calidad, es fácil de transportar y es compatible con distintos tipos de concreto. nonCrete utilizó un bioconcreto fabricado a partir de vegetación invasora triturada proveniente del entorno local. “Esto demuestra que no se requiere concreto de alta gama para construir pisos resistentes con el nuevo sistema de encofrado”, señaló Scheder-Bieschin. “El objetivo es utilizar este sistema innovador de encofrado para construir viviendas de alta calidad, dignas y sostenibles.”

Comercialización Futura

Aunque el sistema fue concebido inicialmente para entornos con recursos limitados, ha captado el interés internacional—en particular de empresas constructoras y estudios de arquitectura interesados en su valor estético, eficiencia económica y capacidad para reducir las emisiones de carbono.

Por esta razón, tras concluir su doctorado, la investigadora continuará desarrollando esta técnica como parte de su trabajo postdoctoral en ETH Zürich, con el objetivo de llevar el producto al mercado.

Para más información, visite: <https://brg.ethz.ch/research/prototypes/838>.

Título original en inglés:
Tech Spotlight.
Zigzags for
Greener Construction

**La traducción de este artículo
correspondió al Capítulo
de Costa Rica**



Traductor:
**Sebastián Agüero
Ricatti**
Estudiante



Revisor Técnico:
**Ing. Guillermo
González Beltrán,
Ph.D.**