

## Pabellón experimental en Friburgo: Hacia una revalorización de la *argamassa* armada a través del Hormigón Textil



PLAN ET ELEVATION  
1:3

ASSEMBLAGE

Ecrous m6

Cadre de fermeture (Cf)

Raidisseurs (R)

Tôle supérieure (Ts)

Cadre intermédiaire (Ci)

Tôle inférieure (Ti)

Vissés 60mm

Planche (P1)

Raudeurs m6

1. Découper les tôles
2. Marquer les plis et découper sur les tôles
3. Découpe dans les tôles à la meuleuse  
Découpe des encoches des pièces TS1 et TS2  
Découpe angles TS5
4. Plé des pièces Ts1,2,3,5 à 70° (plier un après l'autre les plis qui doivent coïncider)
5. Soudure  
Soudure Ts1 et Ts2 en 6 points: 2 extrémités et aux 4 angles inférieurs des nervures  
Soudure TS5 et Ts2
6. Collages  
Coller Ts3 sur la soudure Ts1 - Ts2  
Coller Ts4 sur la soudure TS5 - Ts2  
Coller les raidisseurs sur Ts

5 x RAIDISSEURS  
1:5

10 x R1  
5 x R2  
5 x R3

1. Riveter R1 et R2 sur R3
2. Coller raidisseurs sur Ts

ESP Este artículo presenta la investigación conjunta realizada por un equipo<sup>1</sup> de arquitectos e ingenieros que trabajaron en Suiza y Brasil para explorar el potencial del Hormigón Textil atento a la actualización de la tecnología de «argamassa armada» desarrollada por el arquitecto brasileño João Filgueiras Lima (Lelé) en los años 1980. Desde 2016, este trabajo funciona bajo una plataforma multidisciplinar internacional que ha permitido un intercambio continuo de experiencias y conocimientos, así como el desarrollo de aplicaciones estructurales y arquitectónicas con vocación sostenible junto a nuevas metodologías pedagógicas mediante experiencias prácticas. El resultado de estos esfuerzos ha cristalizado en la construcción de un pabellón experimental en Hormigón Textil en Friburgo, Suiza, que integra los conceptos de construcción ligera desarrollados con detalle por Lelé en el pasado e intenta renovar las tecnologías de prefabricación del siglo XX a las posibilidades actuales.

ENG **Prototype pavilion in Fribourg: towards an upgrade of argamassa armada through Textile Reinforced Concrete**

This article describes a partnership between architects and engineers researching in Switzerland and Brazil around innovative experiences on Textile Reinforced Concrete, which aim at the upgrade of the “argamassa armada” technology developed by Brazilian architect João Filgueiras Lima, Lelé in the 1980's. Since 2016, this research is developed upon knowledge exchange and new pedagogical approaches by means of construction workshops and hands-on student activities which result in update of twentieth century prefab technologies within a sustainable and contemporary framework, materialized by a Textile Reinforced Concrete Prototype Pavilion built in Fribourg, Switzerland.

POR **Pavilhão experimental em Friburgo: Para uma revalorização da argamassa armada a través do Concreto Têxtil**

Este artigo apresenta a investigação conjunta realizada por uma equipe de arquitetos e engenheiros que trabalharam na Suíça e no Brasil para explorar o potencial do Concreto Têxtil (HT em espanhol), focando na atualização da tecnologia da “argamassa armada” desenvolvida pelo arquiteto brasileiro João Filgueiras Lima (Lelé) nos anos 1980. Desde 2016, este trabalho funciona como uma plataforma multidisciplinar internacional que permite o intercâmbio contínuo de experiências e conhecimentos, bem como o desenvolvimento de aplicações estruturais e arquitetônicas com vocação sustentável, junto às novas metodologias pedagógicas mediante experiências práticas. O resultado destes esforços tem se cristalizado na construção de um pavilhão experimental em HT, em Friburgo, Suíça, que integra os conceitos de construção leve desenvolvidos e aprimorados anteriormente por Lelé e tenta atualizar as tecnologias de prefabricação do século XX às possibilidades atuais.

**Autoras:**

**Dr. Arq. y Urb. Sergio Kopinski Ekerman**

Faculdade de Arquitetura  
Universidade Federal da Bahia  
Brasil

**Arq. Patricia Guaita**

École Polytechnique Fédérale de Lausanne  
Suiza

**Email:** [sekerman@ufba.br](mailto:sekerman@ufba.br);

[patricia.guaita@epfl.ch](mailto:patricia.guaita@epfl.ch)

**Palabras clave:** Arquitectura, ingeniería, hormigón textil, prototipo, desarrollo sostenible.

**Keywords:** Architecture, engineering, textile reinforced concrete, prototype, sustainability.

**Palavras-chave:** Arquitetura, engenharia, concreto têxtil, protótipo, desenvolvimento Sustentável.

Artículo Recibido: 30/06/2022

Artículo Aceptado: 15/11/2022

**CÓMO CITAR**

Kopinski Ekerman, S., & Guaita, P. (2022).

Pabellón experimental en Friburgo: Hacia una revalorización de la argamassa armada a través del Hormigón Textil. *ARQUISUR Revista*, 12(22), 46–55. <https://doi.org/10.14409/ar.v12i22.11969>

**ARQUISUR REVISTA**

AÑO 12 | N° 22 | DIC 2022 – MAY 2023

PÁG. 46 – 55

ISSN IMPRESO 1853-2365

ISSN DIGITAL 2250-4206

DOI <https://doi.org/10.14409/ar.v12i22.11969>



1. Equipo de investigación: Patricia Guaita, Sergio Kopinski Ekerman, Raffael Baur, Miguel Fernández Ruiz y David Fernández-Ordóñez

## INTRODUCCIÓN

La «*argamassa armada*» es una tecnología de construcción desarrollada en Brasil durante la segunda mitad del siglo XX, inspirada en los trabajos en ferrocemento efectuados por Pier Luigi Nervi (Gargiani; Bologna, 2016:45). Las primeras realizaciones se dieron en São Paulo, en el Instituto de Arquitectura y Urbanismo de la USP/São Carlos, creándose posteriormente otro polo en Salvador de Bahía.

La técnica se caracteriza por la disposición de armaduras de malla de acero sobre elementos finos realizados con mortero. Alcanzó un alto nivel de aplicación industrial en la prefabricación a través del pensamiento y los proyectos construidos del arquitecto brasileño João da Gama Filgueiras Lima, Lelé (1932–2014) (Latorraca, 1999:32). Durante la década de 1980, Lelé diseñó, junto a un amplio equipo de técnicos, arquitectos e ingenieros, un sistema eficiente de piezas prefabricadas ligeras que podían ser utilizadas en diferentes escalas y contextos, desde el territorio urbano al rural. También se interesó en las distintas dimensiones sociales de los problemas a los que se enfrentaba (y todavía hoy se enfrenta) Brasil en aspectos como infraestructura, educación, salud y vivienda. La mayoría de los proyectos realizados por Lelé con *argamassa armada* en los años 80 se encontraba fundamentalmente en las regiones de Salvador (Bahía), Abadiânia (Goiás) y Rio de Janeiro (Kopinski Ekerman, 2018:250).

El sistema propuesto evolucionó durante los '90 y la primera década del nuevo siglo e incorporó esquemas más complejos con elementos en acero. Se realizaron distintas experiencias constructivas originales en el Centro de Tecnología de la Red Sarah Kubitschek (CTRS), una fábrica en Salvador donde se produjeron 14 hospitales, además de otros edificios para muchos Estados brasileños. La técnica de la *argamassa armada* se mostró rápidamente como altamente eficiente y adaptable, pero, sin embargo, años después de su empleo, se observaron degradaciones importantes en los elementos contra las condiciones climáticas de ciudades como Salvador.

Desde 2016, un grupo interdisciplinar de investigadores y profesores de la École Polytechnique Fédérale de Lausanne (Suiza) y de la Universidade Federal da Bahia (Brasil) trabajan para actualizar la *argamassa armada* con las nuevas tecnologías disponibles, como el Hormigón Textil (HT), material que permite corregir muchas deficiencias de durabilidad y mantiene sus aspectos positivos y fiabilidad (Valeri; Fernández Ruiz; Muttoni, 2020). De esta manera, se ha procedido a

identificar en las experiencias de Lelé un amplio conjunto de posibilidades e inspiraciones para abordar y responder a las necesidades arquitectónicas y a las condiciones urbanas y sociales vinculadas a la creación de nuevos entornos sostenibles. Además, este trabajo se ha revelado como una oportunidad para explorar nuevas metodologías en la enseñanza interdisciplinar, entendiendo también la investigación como una forma de intercambio de conocimientos entre diferentes culturas.

## ACTUALIZACIÓN, REUTILIZACIÓN Y SOSTENIBILIDAD – HORMIGÓN TEXTIL ESTRUCTURAL

Las piezas industrializadas construidas en *argamassa armada*, como las desarrolladas en las fábricas de Lelé de 1979 a 1989 en Salvador, Bahía y Río de Janeiro, tienen espesores delgados, en torno a los 20 mm. Las mismas se encuentran reforzadas con acero ordinario (acero al carbono y, por lo tanto, oxidable). Dicho acero se emplea mediante mallas galvanizadas electrosoldadas de 1,65 mm de diámetro, con distancia entre barras igual a 50 x 50 mm (Figura 1). Además, en zonas más solicitadas, se emplean barras de refuerzo, nuevamente, en acero convencional. Como mortero, se utiliza uno de grado CP11–32 según práctica brasileña (cemento Portland tipo II para clase de resistencia a la compresión igual a 32 MPa). Dicho mortero emplea una relación agua–cemento máxima de 0,40 para limitar la retracción y su consiguiente fisuración. En cualquier caso, las reducidas dimensiones de los elementos solo permitieron recubrimientos mínimos para las diferentes armaduras.

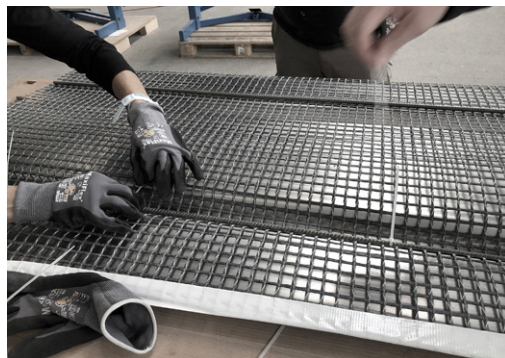
Tanto los diseños de Lelé como la producción en fábrica dieron como resultado un sistema de construcción ligero y bastante económico que permitió construir cientos de edificios prefabricados y equipamientos de infraestructuras (como escaleras públicas, escuelas y guarderías) en pocos años. Sin embargo, esta técnica de construcción ha mostrado problemas de durabilidad cuando las piezas se exponen a contextos climáticos exigentes, como los entornos marinos de Salvador una vez que las dimensiones muy finas y los recubrimientos reducidos no permitían suficiente protección al acero. Los sistemas de cubierta de las escuelas (Figura 2), por ejemplo, sometidos tanto a la lluvia y el sol como al ambiente marino, alcanzaron malas condiciones en tan solo 10–15 años después de su construcción.



**FIGURA 1** | Encofrado y armadura de piezas en argamasa armada – viga de las «Escolas Transitórias» (1988). Fuente: Instituto João Filgueiras Lima.



**FIGURA 2** | Escuela del barrio de Nova Brasília, Salvador, Bahía, Lelé (1986). Fuente: Instituto João Filgueiras Lima.



**FIGURA 3** | Refuerzo con textil en fibra de carbono – HT Fotografía: Sergio Kopinski Ekerman.



**FIGURA 4** | Pabellón experimental EPFL, Friburgo. Fotografía: Ana Carvalho.

Aunque fue posible sustituir algunos de los elementos más deteriorados, muchas de las fábricas originales que producían *argamassa* armada cerraron tras los cambios y ciclos políticos, en torno a la década de 1990. De hecho, Lelé trabajaría a lo largo de toda su carrera en la actualización de la tecnología, considerándola siempre como un proceso abierto y sin producir patentes específicas. Fruto de estas mejoras, Lelé propuso, por ejemplo, un proceso de curado mejor, así como el uso de fibras de acero inoxidable dentro del mortero para conseguir una superficie de hormigón menos sensible.

En este contexto, el HT puede identificarse como una evolución posible del concepto de *argamassa* armada. El HT es un material basado en el cemento cuya armadura consiste en tejidos de fibra de alta resistencia, como las fibras de carbono o de vidrio (Figura 3), y que no presenta problemas de corrosión. Puede observarse que el uso de armadura no corrosiva permite reducir los espesores de los recubrimientos (particularmente para ambientes agresivos), limitán-

dolos a valores estáticos mínimos. Esta condición abre la puerta a la construcción de estructuras duraderas, ligeras y delgadas, con elementos de 10 a 15 mm de espesor. Además, la cantidad de clínker en el cemento también puede reducirse notablemente, aumentando el carácter sostenible del material y reduciendo su huella de carbono, con empleo de volúmenes reducidos de mortero y con una cantidad inferior de clínker (FIB, 2018), creando así estructuras más sostenibles. Además, el uso de estructuras prefabricadas permite que el diseño sea desmontable y, por lo tanto, reutilizable, lo que incorpora en la construcción una dimensión que integra conceptos de economía circular.

La actualización de *argamassa* armada con la tecnología del HT fue explorada por los investigadores de este proyecto que, inspirados por una visita a Salvador en 2017 para estudiar los edificios y las fábricas de Lelé, iniciaron debates científicos permitiendo establecer una colaboración interdisciplinar. Estas discusiones mostraron claramente que la actualización de la tecnología de Lelé debe mantener también sus



**FIGURA 5** | Detalle del pabellón experimental en HT, EPFL, Friburgo.  
Fotografía: Ana Carvalho.

fundamentos y conceptos básicos relacionados con la tecnología, el contexto y el impacto social. Así, el uso de piezas prefabricadas ligeras que pudieran ser fácilmente transportadas y montadas se identificó rápidamente como la forma más adecuada para incorporar la experiencia de la *argamassa* armada. De la misma manera, otro aspecto fundamental es la posibilidad de su aplicación en entornos constructivos donde se utiliza alta y baja tecnología, así como la posibilidad de implementar la autoconstrucción, la construcción evolutiva y la construcción de viviendas asequibles (FIB, 2011).

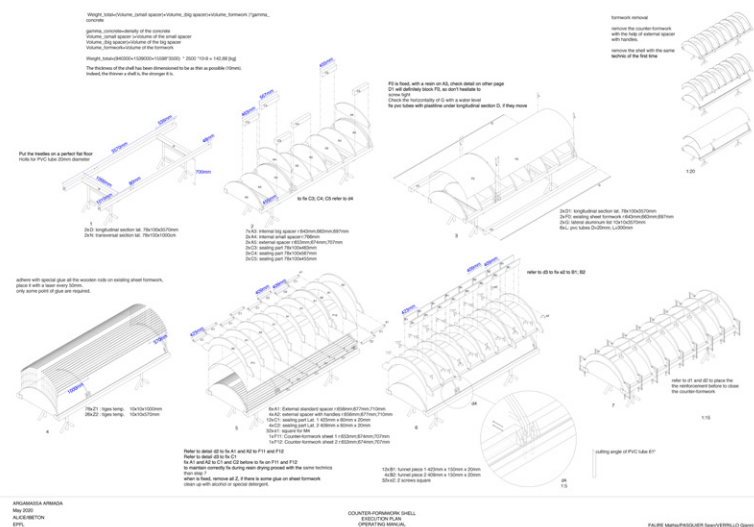
Como punto de arranque concreto, se comenzó a elaborar en 2016 una serie de piezas en la EPFL (Suiza) siguiendo distintos elementos desarrollados por Lelé para ser construidos en *argamassa* armada. Dicha experimentación, se realizó conjuntamente con estudiantes de arquitectura e ingeniería civil. El análisis de esta experiencia mostró que la idea de construir un pabellón prototipo en HT era necesario para entender el material a escala real. Debía verificarse que el cambio de escala era coherente y que los diferentes detalles constructivos y estáticos podían resolverse de manera satisfactoria.

A partir de 2019, a raíz de esta iniciativa, se erigió de manera evolutiva, entre 2019 y 2022, un pabellón en Friburgo (Suiza, Atelier Pop UP de la EPFL). Dicho pabellón (Figura 4) reúne una serie de aspectos del trabajo de Lelé con la prefabricación que integran los conceptos de ligereza, producción en serie, cantidades optimizadas de material, expresión arquitectónica adecuada y posibilidad de desmontar y remontar. Estos conceptos se actualizaron para adaptarse a las nuevas posibilidades que ofrece el HT y se desarrollaron en relación con el diseño y materialización del encofrado. El uso del refuerzo textil (malla de fibra de carbono en este caso), permite obtener piezas ligeras

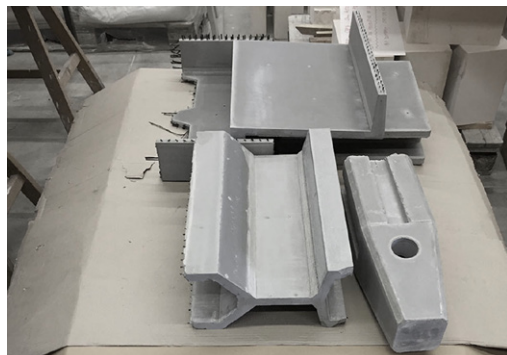
que pueden ser transportadas por varias personas, sin necesidad de utilizar grúas ni equipos mecánicos. Al igual que la escuela rural transitoria de Abadiânia, que Lelé diseñó para ser montada y desmontada según la necesidad del movimiento poblacional de los trabajadores rurales en Brasil, el pabellón experimental en HT explora nuevas formas de técnicas de montaje y desmontaje. Aprovechando la condición abierta de los sistemas estructurales prefabricados, el pabellón en HT presenta su propio lenguaje de conexiones, realizado mediante tuercas y tornillos (Figura 5). Este sistema, más parecido de hecho a la construcción de acero que a la de hormigón, garantiza una completa reutilización. No solo puede montarse y desmontarse una estructura completa, sino que la sustitución y el mantenimiento de los elementos se realiza fácilmente mediante la sustitución de las piezas necesarias, característica que también apunta a la idea de tecnología y autonomía en la producción de viviendas dentro de los países más pobres (Terner, 1972:199). Además de estos aspectos, la actualización de la *argamassa* armada a la materialidad en HT permite evolucionar hacia un concepto de construcción mejor adaptada a los nuevos parámetros ambientales.

#### **PEDAGOGÍA, INVESTIGACIÓN Y MULTIDISCIPLINARIEDAD**

El impacto positivo en el aprendizaje de los estudiantes de arquitectura e ingeniería que participan en actividades prácticas de construcción durante los años de aprendizaje se encuentra ampliamente reconocido y documentado en investigaciones y estudios internacionales (Guaita *et al.*, 2021) y son una parte importante de los cursos de pregrado y posgrado. En Brasil, la idea del *canteiro experimental* (obra experimental) está establecida desde, al menos, 1996, cuando la ley de Directrices Educativas Nacionales de Brasil implantó la existencia obligatoria de laboratorios dedicados en las escuelas de arquitectura brasileñas. Más que un laboratorio de fabricación o construcción para la actividad práctica, el *canteiro experimental* debe «liberar y dar alas para que el estudiante cree, con mayor complejidad, una visión de su profesión, en relación con el interés humano respecto a la producción de conocimiento» (Ronconi, 2005:143). En otras palabras, el *canteiro experimental* brasileño refleja una propuesta pedagógica sobre cómo integrar los aspectos sociales, económicos y tecnológicos en la enseñanza de los estudiantes de arquitectura y urbanismo.



**FIGURA 6** | Dibujos de los encofrados para la construcción de forjados en HT realizados en la UE «Argamassa Armada en Salvador de Bahía». Fuente: Patricia Guaita y Raffael Baur.



**FIGURA 7** | Trabajo realizado en el curso UE «Argamassa Armada en Salvador de Bahía» en EPFL Lausana – ENAC/EPFL. Fotografía: Patricia Guaita.



**FIGURA 8** | Trabajo realizado en el curso UE «Argamassa Armada en Salvador de Bahía» en EPFL Lausana – ENAC/EPFL. Fotografía: Patricia Guaita.

En este sentido, es importante señalar que el proyecto relativo a la actualización de la tecnología *argamassa* armada desarrollado por las escuelas de Suiza y Brasil pasa por un enfoque basado en la investigación y enseñanza a través del hacer. Esto permite que, gracias a experiencias físicas que incorporan prototipos a la escala real, se facilite una investigación en el hacer colaborativo con nuevos elementos. En todo caso, el aspecto social del trabajo de Lelé en Brasil también se potencia como punto de partida pedagógico, más allá de la producción y el pensamiento industrial que marcan el desarrollo técnico.

En la EPFL, el curso «*Argamassa Armada en Salvador de Bahía*», ofrecido a los estudiantes de tercer año de ingeniería y arquitectura, promueve la reinterpretación

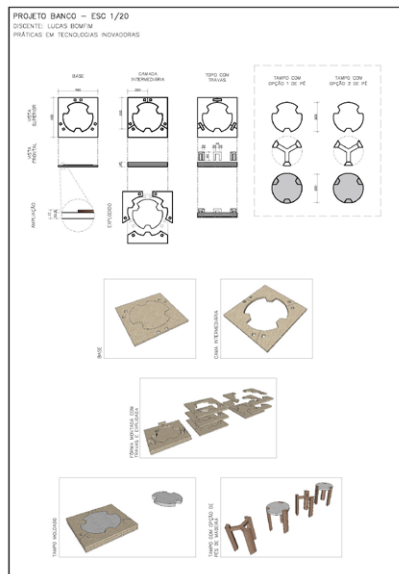
de los elementos estructurales diseñados y construidos por Lelé. A través del diseño y la construcción de nuevos encofrados (Figura 6), el curso se desarrolla en forma de análisis e investigación empírica de la tecnología de *argamassa* armada mediante la fabricación de prototipos a escala real y el ensayo de elementos estructurales (Figuras 7 y 8). El encofrado se fabrica en chapa plegada de 1,0–1,5 mm, una tecnología ligera y fácil de desarrollar manualmente, que permite la producción en serie de piezas. Para el armado, se probaron diferentes tipos de mallas de fibra de carbono y vidrio, identificando a partir de estos ensayos los más prometedores (generalmente en fibras de carbono, ver Valeri *et al.*, 2020).



**FIGURA 9** | Prototipo de un guarda bicicletas realizado en el curso «Prácticas em Tecnologias Inovadoras», FAUFBA, 2019. Fotografía: Sergio Kopinski Ekerman.

En Salvador, el curso «Prácticas em Tecnologias Inovadoras» (Prácticas em Tecnologías Innovadoras) explora nuevas formas de fabricación de encofrados, utilizando una máquina CNC para cortar con precisión piezas de madera contrachapada. Dichas piezas permiten la fabricación de encofrados que se montan y desmontan sin tornillos ni resinas (Kopinski Ekerman; Silva, 2020:661). También se ha tenido en cuenta el legado de Lelé y la innovación que él introdujo en la tecnología de encofrados. Este curso combina sesiones teóricas de clases y debates con actividades prácticas para el desarrollo de proyectos y la creación de prototipos, dependiendo también de herramientas analógicas y digitales para el diseño y la construcción. Comenzando con el corte de piezas (después de introducir los fundamentos del CNC), cada alumno explora desde el diseño hasta la construcción de un prototipo (Figuras 9 y 10). El curso se desarrolla dentro del módulo lansã, establecido por Lelé en la Universidade Federal da Bahia (FAUFBA) en 1988 siguiendo el modelo de las escuelas transitorias.

Especialmente en el caso suizo, la transdisciplinariedad entre arquitectos e ingenieros emerge dentro del carácter de la disciplina y reúne tanto el diseño estructural como el proceso de producción en el origen de la experiencia, lo que contribuye a la colaboración mutua y al intercambio entre áreas. En Salvador, la conexión con los procesos de ingeniería está ga-



**FIGURA 10** | Encofrado de un asiento en argamasa armada realizado en la router CNC – curso «Prácticas em Tecnologias inovadoras» – FAUFBA, 2019, estudiante Lucas Bomfim. Fuente: Sergio Kopinski Ekerman.

rantizada por las visitas periódicas a la Fábrica DESAL (Companhia de Desenvolvimento Urbano da Cidade de Salvador), que heredó los encofrados y los procesos industriales de la última fábrica de Lelé en Salvador (la FAEC, cerrada en 1989). Estas visitas permiten a los estudiantes profundizar en los elementos de *argamassa* armada, los encofrados y la organización y gestión de la producción.

En ambos casos, el aprendizaje a través de la práctica y el trabajo de Lelé son los vectores didácticos comunes tanto en Salvador como en Lausana.

#### PLATAFORMA DE INTERCAMBIO DE CONOCIMIENTOS

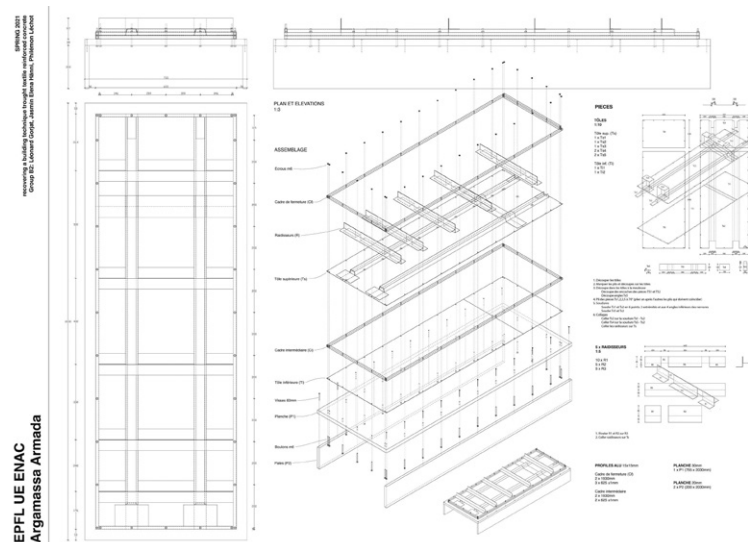
Actuando como síntesis del proyecto y de las experiencias descritas anteriormente, el pabellón en HT ha sido construido por estudiantes tanto de la EPFL como de la FAUFBA a lo largo de cuatro talleres de verano que tuvieron lugar en septiembre de 2019, 2020, 2021 y 2022 en Friburgo, Suiza. El pabellón en HT se erige como una plataforma de colaboración entre instituciones y de intercambio de conocimientos que fue reconocida como un esfuerzo conjunto por el Seed Money Grant 2020 de la Universidad de St. Gallen (Leading House para la Región Latinoamericana) mediante un proyecto presentado por los investigadores de la EPFL, junto con el Prof. Sergio Kopinski Ekerman (FAUFBA). El pabellón ha sido diseñado y construido *in situ* por los arquitectos e investigadores Raffael Baur y



**FIGURA 11** | Taller de verano «Prototype Pavilion in Textile Reinforced Concrete», 2019, EPFL Fotografía: Ana Carvalho.



**FIGURA 12** | Taller de verano «Prototype Pavilion in Textile Reinforced Concrete», 2021, EPFL. Friburgo. Fotografía: Sergio Kopinski Ekerman.



**FIGURA 13** | Dibujos de los encofrados para la construcción de forjados en HT. Fuente: Patricia Guaita y Raffael Baur.

Patricia Guaita, en colaboración con los ingenieros Miguel Fernández Ruiz y David Fernández-Ordóñez, así como con el Prof. Kopinski Ekerman, investigador experto en la obra de Lelé. Este trabajo también fue posible gracias a las ideas, esfuerzos y contribución de dos estudiantes de doctorado de la EPFL en Ingeniería Civil, Patrick Valeri (2019–2020) y Enrique Corres Sojo (2020–2021), junto con la infatigable implicación de los estudiantes de Arquitectura e Ingeniería de la EPFL y puntualmente de la FAUFBA.

El primer taller, desarrollado entre agosto y septiembre de 2019 (Figura 11), contó con la participación de 26 estudiantes, 6 de ellos procedentes de Brasil, y se dedicó a la elaboración de piezas a escala real trabajadas previamente en el curso «Argamassa Armada en Salvador de Bahía: vigas, pilares y láminas. En el segundo taller, celebrado en 2020, se amplió el pabellón, extendiendo la trama del edificio con la repetición de

algunos elementos realizados el año anterior, y probando nuevos elementos de forjado de mayor tamaño, lo que supuso todo un reto, pero ayudó a probar los límites y la aplicabilidad del HT. Gracias a la presencia del esqueleto básico ya montado durante los dos talleres anteriores, la sesión de agosto a septiembre de 2021 (Figura 12) se centró en la construcción de diferentes elementos. Se redefinieron las dimensiones de los forjados y se desarrollaron nuevas técnicas de hormigonado específicas para las distintas piezas estructurales, incluyendo un nuevo fragmento de escalera que daba acceso al pabellón. Tanto el taller de 2020 como el de 2021 contaron con menos alumnos que la edición de 2019 debido a las restricciones de COVID-19. En términos pedagógicos, los talleres promovieron acciones experimentales y exploratorias, permitiendo a los alumnos trabajar directamente con el hormigón y la fabricación de encofrados.



En 2022, el taller desarrolló nuevos elementos, como los muros y cerramientos verticales.

Al diseñar, construir y experimentar, los estudiantes entran en un proceso en el cual la construcción se convierte en una actividad proyectiva. Todo se fabrica en el taller, desde los primeros dibujos conceptuales hasta los distintos elementos físicos, pasando por los planos constructivos (Figura 13), el encofrado, el armado, el hormigonado y el montaje *in situ*. Esta forma de trabajar expone directamente a los estudiantes a la realidad de la construcción y a sus cualidades materiales y físicas. Cada generación de estudiantes hereda los elementos construidos por las anteriores, con lo que se genera una evolución en el lenguaje constructivo. El trabajo se integra en un contexto que participa de la cultura del hacer donde el diseño y la fabricación se entienden como un acto colectivo. El tiempo y el esfuerzo que suponen construir con las propias manos reflejan la importancia de las interacciones con los materiales de forma directa.

Aprovechando la excelente infraestructura del Atelier PopUP de la EPFL en Friburgo, las actividades incluyen tanto experiencias prácticas, como construcción de encofrados y hormigonado de piezas, ligados estrechamente al diseño conceptual, así como diversas conferencias sobre temas relacionados. El diálogo e intercambio constantes entre investigadores y estudiantes se mantienen a lo largo de todo el proceso, lo que es en particular evidente en los momentos de hormigonado, que tienen lugar normalmente durante la segunda semana de trabajo.

## CONCLUSIONES

Este trabajo comparte las distintas experiencias de un grupo transdisciplinar de investigadores en Suiza y Brasil que exploran cómo actualizar los principios de la construcción de la *argamassa* armada y del ferrocemento con las posibilidades que ofrecen los materiales actuales basados en el cemento. Se demuestra que se puede dar una respuesta adecuada a los retos pasados y actuales de la construcción (con un enfoque en una construcción eficiente y sostenible que se combinan con la dimensión social y de desarrollo e innovación durable de la construcción) integrando los conocimientos y experiencias anteriores con materiales y procesos de altas prestaciones.

Los resultados de la investigación identifican al HT como una evolución natural del hormigón armado y en particular de la *argamassa* armada para la construcción de elementos ligeros y delgados. Resuelve los problemas de corrosión asociados a los mismos (recubrimiento de hormigón mínimos), al tiempo que mantiene la ligereza de la construcción y las posibilidades de la prefabricación. La investigación explora las dimensiones estructurales, arquitectónicas y medioambientales del HT mediante la prefabricación y el trabajo en un proyecto compartido por ingenieros y arquitectos. Esto se lleva a cabo principalmente mediante una serie de talleres y la construcción de un prototipo en forma de pabellón en HT. Dicho pabellón permite una demostración completa del potencial del HT como material de construcción capaz de integrarse en diferentes contextos. A través de la exploración ligada al concepto de la *argamassa* armada desarrollado por Lelé en Brasil, se abren nuevas perspectivas para la aplicación de materiales basados en el cemento. Además, esta investigación muestra la posibilidad de implementar enfoques pedagógicos innovadores, reuniendo a estudiantes e investigadores tanto de Arquitectura como de Ingeniería a través de la construcción a escala real.

Los planes futuros incluyen el desarrollo de un taller en Salvador (Brasil) dedicado a la renovación del Pabellón de Iansã, en el que se permitirá a los investigadores y estudiantes concebir y hormigonar nuevos elementos en ferrocemento y HT para la cubierta del edificio. Esta propuesta permitirá una observación empírica y una comparación directa de ambas técnicas, tanto durante la fabricación como de su comportamiento durante la vida útil de la estructura. ■

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- KOPINSKI EKERMAN, S. (2018). *Tecnologia e Transformação: Pré-Fabricação Para Reestruturação de Bairros Populares e Assistência Técnica à Autoconstrução*. Universidade Federal da Bahia.
- KOPINSKI EKERMAN, S.; SILVA, L.G.M. (2020). Practices on Innovative Technologies: A Digital (Pre) Fabrication Experience at the Undergraduate Program in Architecture and Urbanism. En *XXIV International Conference of the Iberoamerican Society of Digital Graphics*. Congreso SIGraDi 2020, 660–667. Blucher.
- FIB (The International Federation for Structural Concrete) (2018). *Bulletin 88: Sustainability of precast structures, State of the art report*.
- FIB (The International Federation for Structural Concrete) (2011). *Bulletin 60: Prefabrication for affordable housing. State-of-art report*.
- GARGIANI, R. Y BOLOGNA, A. (2016). *The Rhetoric of Pier Luigi Nervi, Concrete and Ferrocement Forms*. EPFL Press.
- GUAITA, P.; BAUR, R.; FERNÁNDEZ RUIZ, M.; FERNÁNDEZ-ORDÓÑEZ, D. (2021). A Prototype Pavilion in Textile Reinforced Concrete: A Tool for Research and Pedagogy. *Proc. of the Int. fib Symp. on Conceptual Design of Structures*, 511–518. Attisholz.
- LATORRACA, G. (1999). *João Filgueiras Lima, Lelé*. Blau.
- RONCONI, R.L.N. (2005). Canteiro Experimental: Uma Proposta Pedagógica Para a Formação Do Arquiteto e Urbanista. *Revista do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo da FAUUSP*, (17), 142–159.
- TERNER, I.D. (1972). *Technology and Autonomy. Freedom to Build: Dweller Control of The Housing Process* (pp. 199–237). Macmillan.
- VALERI, P.; FERNÁNDEZ RUIZ, M.; MUTTONI, A. (2020). Tensile Response of Textile Reinforced Concrete. *Construction & Building Materials. Elsevier*, (258), 119517–119538. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119517>

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias al apoyo financiero de la Universität St.Gallen (HSG) Centro Latinoamericano–Suizo (Suiza), mediante la beca Seed Money Grants 2020 (SMG2013). Los autores del artículo y los profesores Raffael Baur, Miguel Fernández Ruiz y David Fernández–Ordóñez, quienes forman el equipo de investigación, desean expresar además su agradecimiento a los estudiantes y personal de la EPFL y la FAUFBA que han participado en el proyecto, en particular a Patrick Valeri, Enrique Corres Sojo y Ana Carvalho, por su ayuda en los talleres de construcción.