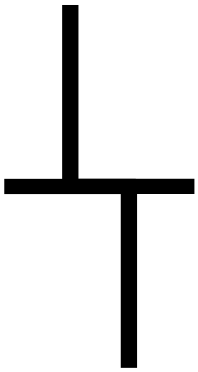
TEXTOS DE TECNOLOGÍA



TEXTOS DE TECNOLOGÍA

REVISTA DEL INSTITUTO DE LA CONSTRUCCIÓN

FACULTAD DE ARQUITECTURA, DISEÑO Y URBANISMO

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

AÑO 0
NÚMERO 00
DICIEMBRE DE 2019
MONTEVIDEO
URUGUAY

Facultad de Arquitectura,
Diseño y Urbanismo
UDELAR

UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
DR. RODRIGO ARIM
RECTOR

FACULTAD DE ARQUITECTURA,
DISEÑO Y URBANISMO
ARQ. MARCELO DANZA
DECANO

CONSEJO FADU
ORDEN DOCENTE
JUAN CARLOS APOLO
DIEGO CAPANDEGUY
LAURA CESIO
FERNANDO TOMEO
CRISTINA BAUSERO
ORDEN ESTUDIANTIL
FLORENCIA PETRONE
MAXIMILIANO DI BENEDETTO
BELÉN ACUÑA
ORDEN EGRESADOS
PATRICIA PETIT
TERESA BURONI
ALFREDO MOREIRA

COMISIÓN DEL IC
ORDEN DOCENTE
ARQ. GRACIELA MUSSIO
ARQ. JUAN JOSÉ FONTANA
ARQ. FERNANDO TOMEO
ORDEN EGRESADOS
ARQ. LUIS RODRÍGUEZ
ORDEN ESTUDIANTIL
BACH. FIORELLA CAMPOS

DIRECTOR EJECUTIVO
ARQ. FERNANDO TOMEO

TEXTOS DE TECNOLOGÍA

© IC - FADU - UDELAR, 2019,
MONTEVIDEO, URUGUAY

COMITÉ EDITORIAL
MARIO BELLÓN
JUAN JOSE FONTANA
JORGE GAMBINI
CLAUDIA VARIN

CORRECCIÓN
LAURA ALONSO

DISEÑO Y ARMADO
JOSÉ DE LOS SANTOS

PUBLICACIÓN COMPUESTA CON TITILLIUM WEB
(OPEN FONT LICENSE) DISPONIBLE EN:
FONTS.GOOGLE.COM/SPECIMEN/TITILLIUM+WEB

AUSPICIA ESTA PUBLICACIÓN

iucose
Instituto Uruguayo de Construcción en Seco

IMPRESIÓN Y ENCUADERNADO POR MASTERGRAF S.R.L,
BVAR. ARTIGAS 4678, 11700, MONTEVIDEO, URUGUAY.

ISBN: 978-9974-0-1717-7
DEPÓSITO LEGAL: 377.002
COMISIÓN DEL PAPEL. EDICIÓN AMPARADA
EN EL DECRETO 218/96

Industrialización y diseño

TEXTOS DE TECNOLOGÍA

REVISTA DEL INSTITUTO DE LA CONSTRUCCIÓN

FACULTAD DE ARQUITECTURA, DISEÑO Y URBANISMO

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

Contenidos

TEXTOS DE TECNOLOGÍA

técnica

21

Técnica y arquitectura: apuntes sobre historiografía

MARY MÉNDEZ

35

Los espesores de la piel

SOFÍA GAMBETTA

47

La industrialización de la construcción a mediados del siglo xx. El caso de Jean Prouvé

JUAN JOSÉ FONTANA

55

Integración de la estructura resistente en el proyecto arquitectónico

HAROUTUN CHAMLIAN

materia

117

La evaluación de sistemas constructivos no tradicionales en programas habitacionales

GRACIELA MUSSIO

129

Estructuras de construcciones en sistema *Steel Framing*

GABRIEL BOCCARATO

141

Terminaciones exteriores e interiores para el sistema *Steel Framing*

LÍBER TRINDADE

151

Características y limitantes de la impresión 3D como método de fabricación digital

FABRICIO LEYTON

09

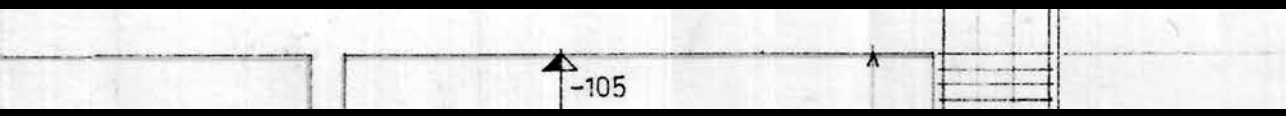
Editorial
FERNANDO ISLAS

11

Industrialización y diseño
COMITÉ EDITORIAL

13

Pausa
FERNANDO TOMEO



experimentación

73

Prefabricación y diseño
GEMMA RODRÍGUEZ

83

Fabricación de madera laminada encolada para uso estructural
CAROLINA PÉREZ-GOMAR
LAURA MOYA

95

Construcción en seco. *En*-clave de energía
MAGDALENA CAMACHO
DANIEL SOSA

105

La oportunidad para la madera contralaminada en Uruguay
DANIEL GODOY

producción

165

El nudo y la retícula. Casa de la Rifa de la generación 2012
JORGE GAMBINI

177

El caso de la capilla que llegó en barco
MAPA ARQUITECTOS

195

Sede CAF región sur. Banco de desarrollo de América Latina
LAPS ARQUITECTOS

Editorial

«La divulgación de la investigación científica, mediante artículos, ponencias y conferencias, entre otros mecanismos, es esencial, pues, como comúnmente se reconoce, investigación que no se publica no existe».

Gustavo Cáceres Castellanos

La difusión y la divulgación de los conocimientos científicos son tareas diferentes, aunque ambas, por ser inherentes a la investigación, están estrechamente relacionadas.

La difusión, entendida como la comunicación e información de los conocimientos a la comunidad científica, radica su importancia en alimentar y enriquecer la cultura científica, generadora de más y nuevos conocimientos, base de la enseñanza y de nuevas investigaciones capaces de innovar y ampliar la cultura en términos más amplios.

La divulgación se entiende como la comunicación de los conocimientos a la sociedad en general, ya que en este caso el objetivo de la información científica es mantenerla formada, aportando a su cultura y al enriquecimiento de su libertad de elección.

La comunicación de la información científica, en cualquiera de sus formas, contribuye a la creación y búsqueda de nuevos conocimientos, expandiendo la cultura, aportando a la mejora de la educación y colaborando en la solución de problemas sociales, tres propósitos fundamentales de nuestra Universidad de acuerdo a su Ley Orgánica.

La sociedad, por intermedio de la Universidad de la República y de nuestra Facultad, realiza, en forma directa o mediante los distintos institutos, una importante inversión en investigación. La difusión y divulgación de los resultados de esas investigaciones, así como los conocimientos científicos y tecnológicos adquiridos, deben retornar a la sociedad para alimentar el desarrollo cultural

de la misma. Es obligación del investigador informar sobre los avances y resultados de sus trabajos a fin de democratizar la educación y el conocimiento. Esta tarea debe formar parte de las investigaciones, integrando sus costos, y de los proyectos, ya que la investigación recién culmina cuando es entendida y comprendida por la comunidad.

Al igual que otros autores, entiendo por «difusión» una obligación profesional del investigador y por «divulgación» una obligación social.

Celebramos y aplaudimos la generación de una revista del Instituto de la Construcción, que facilite y propicie la publicación de resultados y avances de sus diferentes investigaciones. De esta manera estaremos difundiendo y divulgando conocimiento tecnológico que acercará y dinamizará las relaciones entre investigación, enseñanza y extensión, tres funciones poco integradas hoy.

La investigación sin publicación solo es una forma de alimentar la vanidad y la formación del investigador sin contribuir al objetivo de ampliar el conocimiento, porque, como afirma Gustavo Cáceres Castellanos, la «investigación que no se publica no existe».

FERNANDO ISLAS
Exdirector del Instituto de la Construcción

Industrialización y diseño

Industrialización y diseño forjaron una inseparable dupla que ha marcado la evolución reciente de la arquitectura.

El proceso de industrialización provoca cambios en la materia, en las técnicas constructivas y en los modos de producción. La experimentación con la materia, tanto en su estado natural como transformada, es indispensable para la creación de conocimiento técnico y promueve la tipificación, estandarización y normalización de los productos que la industria desarrolla. A falta del aval que la sabiduría del tiempo y las costumbres otorgan, la arquitectura industrializada recurre al tiempo acelerado del laboratorio como espacio de ensayo y legitimación. A través de la evaluación de rendimientos y de la certificación de propiedades, la materia se transforma sistemáticamente en componente. La búsqueda de la eficacia y la optimización dirigen este proceso que conduce, inevitablemente, a la tecnificación de las tareas de concepción, proyecto, fabricación y control de una obra. Nuevos materiales, productos, sistemas constructivos, formas de expresión, herramientas de cálculo y de visualización explican y justifican este cambio matérico en el diseño. Nuevas materializaciones implican nuevas formas de implantación, transporte, izamiento, posicionado y ensamble, cambios en las redes de suministro y en el personal, y también rendimientos y tiempos de ejecución diferenciales. Finalmente, este proceso provoca el desarrollo de nuevas metodologías de diseño, producción, control, gestión y gerenciamiento, que inevitablemente retroalimentan al propio proceso de industrialización, completando el círculo virtuoso.

COMITÉ EDITORIAL TEXTOS DE TECNOLOGÍA

Pausa

Se sugiere una pausa...

Sí, se sugiere una pausa, aunque sea una breve pausa que aleje temporalmente el vértigo de la vida académica contemporánea y habilite la reflexión sobre la importancia de una nueva publicación universitaria de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo, y, especialmente, del futuro Instituto de Tecnología.

Es evidente que para la Arquitectura y el Diseño en general es posible establecer un paralelismo congruente e histórico (Ligrone, 2012) entre la historia de las publicaciones, especialmente las revistas, y el ejercicio académico y profesional. En este sentido, resulta pertinente hacer referencia al artículo de Francisco Díaz, en la R17 de la FADU, donde manifiesta que «publicar es hacer público. Es transformar algo privado en un documento público [...] un hacer público que esclaviza» (2019, p.28). Para este autor, escribir y publicar es una acción de riesgo, postura que en una primera lectura parece contradecir la siguiente e histórica expresión de los investigadores universitarios: «publicar o morir».

Quienes consideran el conocimiento parte del patrimonio de la humanidad, lamentablemente aún en manos de unos pocos, se informan e investigan considerando que toda «tribuna» escrita, intelectualmente honesta, es válida. Es indudable, y tanto el decano, profesor Marcelo Danza, como el Consejo han resaltado que, en estos últimos tiempos, la FADU ha realizado un esfuerzo enorme, que dio resultados, y las publicaciones académicas se han ido incrementando.

Pero se necesitará tiempo para despejar la duda acerca de si el retraso existente en el desarrollo de otros espacios académicos independientes de la docencia directa se debe a la baja carga horaria de los docentes o si se relaciona con una característica particular de los diseñadores, quienes, en general, parecen sentirse más motivados a expresarse mediante el uso de lenguajes gráficos, no siempre normalizados, y no a través del texto escrito. Si bien es probable que ambas situaciones conspiren, también es una realidad que a partir del Renacimiento, con el desarrollo tecnológico que implicó la imprenta, el libro se constituyó en una herramienta fundamental no solo para la difusión del trabajo de los arquitectos y diseñadores sino como un instrumento didáctico eficiente en el desempeño académico; pero también se debe reconocer que el dibujo rápidamente desplazó al texto escrito y quizás sea el siglo XVI el espacio temporal testigo de esta particular forma de comunicación. Basta analizar los tratados de Sebastiano Serlio de 1537, de Jacopo Vignola de 1562 y de Andrea

Palladio de 1570 para observar el protagonismo del dibujo y la calidad gráfica utilizada por los tratadistas herederos de Vitruvio.

La vinculación del conocimiento con la capacidad de desarrollo autónomo de una comunidad, de un país, es tan evidente y ha sido tan demostrada que no es extraño que en forma permanente se discuta a nivel mundial la libre circulación del conocimiento científico y tecnológico.[1] Si bien el tema acepta una multiplicidad de visiones, parecería evidente que los constructores de conocimiento deberían considerar la difusión de sus investigaciones como un acto obligatorio, sometido al derecho de todos, ya que en el marco de un sistema democrático y republicano utilizan los recursos públicos estatales, económicos o físico-virtuales espaciales de sus diferentes ámbitos.

Vale recordar que a fines de los noventa ya existían propuestas como la desarrollada por el profesor e investigador Pablo Daniel Vain de la UNAM para la generación de lo que él definía como un *Diario Académico,* especialmente enfocado en la formación de profesionales reflexivos a partir del análisis de las diferentes propuestas pedagógicas y prácticas didácticas. La mirada de Vain no se agotaba en la construcción de conocimiento disciplinar sino, justamente, en un área bastante inexplorada en FADU que se corresponde con la práctica docente (Vain, 1999).

En esta misma dirección resulta interesante el planteo de Joel Mokyr,[2] autor al que se hará referencia en más de una oportunidad, que entiende que el progreso tecnológico es «cualquier cambio en la aplicación de la información a los procesos productivos con el fin de aumentar la eficacia» (1990, p.21), pero insiste «que gran parte del crecimiento se deriva de la información disponible» (1990, p.21), es decir, que con el aumento del flujo de información aumentarán las posibilidades del desarrollo de la tecnología.

En la construcción teórica, incluso en las etapas previas, iniciales, más vinculadas a la reflexión, la transversalidad esperada no necesariamente surge de la discusión entre pares cuando esta, además, en la mayoría de los casos está ausente, pero la información que surge de las publicaciones permite intercambiar con aquellos no presentes y de esta forma agrandar el caudal de pensamiento transmitido.

Y durante la misma pausa...

Hay que animarse a pensar colectivamente, fortaleciendo la mirada transversal del conocimiento. Nunca tuvo sentido balcanizar el esfuerzo académico y menos aún mantener cierta fidelidad con la tradición cultural del «mundo de las ideas» y el «mundo del hacer» cuando la realidad, esa empecinada flor que nace entre las piedras, ha demostrado que hay un solo mundo en el que se piensa y se hace para luego volver a pensar y volver a hacer. Quienes tienen una visión humana, materialista y dialéctica de la historia reconocen que el acto creativo, propio de la Arquitectura y el Diseño, es un acto individual favorecido seguramente por el ambiente, considerado este en todas sus dimensiones; pero la materialización de esa idea que implica el desarrollo tecnológico es un acto colectivo de actuar juntos y en forma convergente (Jenkis, 2006; Sennett, 2012).

1. El miércoles 28 de agosto de 2019, en el Aula Magna de la Facultad de Información y Comunicación de la UdelaR, se concretó el encuentro «Miradas sobe el acceso a la literatura científica», donde, entre otras personas, estuvieron presentes Dante Cid, vicepresidente de Relaciones Académicas para América Latina de Elsevier, Guillermo Banzato y Cecilia Rozemblum, profesores de la Universidad de la Plata e integrantes del proyecto *Conocimiento Abierto en América Latina y el Sur Global* (AmeliCA, amelica.org). En conexión con Rusia también participó la reconocida neurocientífica Alexandra Elbakyan, creadora de Sci-Hub (Jenkis, 2006).

2. Este destacado investigador recibió el título Doctor Honoris Causa, en el Paraninfo de la Universidad de la República el 6 de diciembre de 2018, por sus aportes en el análisis del vínculo entre ciencia y tecnología para el logro del desarrollo económico de los países (Méndez, 2014).

En este sentido es válido reflexionar sobre la obra del profesor Giacomo Rizzolatti, neurobiólogo, quien recibió el 12 de junio de 2019 el título de Doctor Honoris Causa de la Universidad de la República y que es, por la comunidad académica mundial, considerado el descubridor de las neuronas espejo. Mediante estas neuronas el individuo puede construir una representación motora interna de lo realizado por otro individuo. A partir del trabajo de este investigador, la profesora Annabel Ferreira[3] plantea, a través de un ejemplo, que un pianista no puede escuchar un concierto sin que se activen las áreas motoras de su cerebro que controlan el movimiento de sus dedos. Por tanto, la danza, la música, el cine, la literatura y la pintura se basan en esa conexión inmediata entre la obra y el observador, y por ello parece razonable extender esta mirada al trabajo del arquitecto y el diseñador en su etapa formativa o de práctica profesional. Para la mencionada investigadora, los cimientos de nuestra capacidad de socialización, cooperación y formación de culturas están profundamente enraizados en nuestras características biológicas. En los seres humanos, el papel de la imitación es especialmente importante porque esta es básica e indispensable para nuestra enorme capacidad de aprendizaje, así como de construcción y transmisión de cultura. Las neuronas espejo y la sincronía biocomportamental son algunos de los mecanismos biológicos que nos permiten integrar a otras personas en nuestro cerebro, compartir experiencias y aumentar nuestra capacidad cooperativa. Es inevitable, a partir de estos planteos, reflexionar una vez más sobre la enseñanza del taller convencional, ya sea de proyecto, de materialización, de trabajo artesanal, de laboratorio de ensayos, entre otros, considerado en muchos ámbitos como una práctica completamente perimida, producto de una didáctica superada, donde el trabajo a partir de la repetición basada en la observación era la metodología principal para la construcción de un conocimiento que superaba la destreza motriz.

Y en la medida que, sin prejuicios, aceptamos que la condición material de la arquitectura, o de cualquier objeto diseñado para comunicar, para definir paisaje, para su fabricación industrial o artesanal, es ineludible, la misma se integra al proceso de diseño. La fusión del «pensar» con el «hacer», del diseño y su materialización, ha permitido afirmar a muchos diseñadores que la materialidad trasciende el puro hecho físico para imponer su lógica y leyes desde el momento inicial de la concepción de la forma (Iñiguez, 2001).

Investigar para crear tecnología apropiada al campo del diseño y su materialización es imprescindible, pero se deben definir, con precisión, los objetivos y la hoja de ruta, porque, de lo contrario, se corre el riesgo de desviarse del camino trazado por la FADU y la UdelaR. Y esto no quiere decir, para nada, cercenar la libertad del investigador en su búsqueda, sino fortalecerlo, en la medida que el trabajo colectivo retroalimenta los esfuerzos personales y los pone al servicio del bien común.

Lo que resulta claro es que el campo de conocimiento específico del Instituto de Tecnología es, como lo indica su nombre, el de la tecnología afectada al diseño, por lo tanto, se debe profundizar en el análisis de corte epistemológico, porque la tecnología es más que ciencias aplicadas. Tiene sus propios procedimieto de investigación, adaptados a circunstancias concretas que distan de los casos

3. Doctora en Ciencias Biológicas. Docente e investigadora del Instituto de Biología, Sección Fisiología y Nutrición de la Facultad de Ciencias, y del Centro Interdisciplinario en Cognición para la Enseñanza y el Aprendizaje de la Universidad de la República.

puros que estudia la ciencia. Por otra parte, es justamente en el espacio tecnológico donde se debe reconocer que el conocimiento también se construye fuera del recinto universitario y de esta forma asumir que la tecnología contiene un cúmulo de reglas empíricas descubiertas antes que los primeros científicos, y que en el hacer, diariamente, se construye conocimiento tecnológico en la resolución de problemas prácticos. Es tarea de los investigadores del Instituto de Tecnología sistematizar y apropiarse de ese conocimiento para, desde el enfoque científico, aportar conocimientos nuevos (Quintero, 2018).

En este sentido, es necesario reconocer que el ámbito académico, espacio apropiado para la reflexión y debate de ideas sobre la construcción e integración del conocimiento, requiere de la sistematización teórica, dado que ninguna ciencia puede probar directamente sus propios principios y ningún hacer se explica desde el hacer mismo. Y sin pretender escribir en este pequeño editorial el «marco teórico de la enseñanza de la Arquitectura y el diseño visto desde la materialidad», sí parecería importante aportar en esta dirección, aceptando que la teoría puede considerarse como la ciencia del sentido, debido a que constituye el saber «fundamentador». El ser y el haber de la arquitectura y el diseño no se encuentran en abstracciones, espacio, medida, función, sino que radican en un hacer. De manera que ninguna teoría del diseño en general puede tenerse por auténtica si en ella quedan omisas las condiciones productivas en que la arquitectura, o el objeto diseñado, surge como obra (Morales, 1999). Por tanto, si la teoría es un sistema de hipótesis que refieren a una porción del saber, un campo de investigación y no uno de creencias, debe alertarnos de todo camino que eluda la duda sistemática y opte por las certezas indiscutibles, reconociendo que la teoría nos presenta dos diálogos tan fructíferos como insoslayables: teoría y realidad, teoría y práctica (Ligrone, 2012).En este sentido, y modificando la expresión de un gigante, se podría afirmar que «la mejor teoría de la Arquitectura y el Diseño son los procesos que culminan con los proyectos hechos».

Y luego de la pausa, la acción

Y la acción ubica al Instituto en un momento especial, porque la reestructura académica, que discute el demos universitario y avanza en la aprobación del Consejo, se presenta como una gran oportunidad para modificar las prácticas y dar un paso hacia la formación universitaria contemporánea.

En este sentido, el trabajo del Instituto de Tecnología como espacio de encuentro de todas las carreras FADU, interactuando en departamentos y trabajando sobre los tres trayectos que definen el desempeño universitario, la enseñanza de grado y posgrado, la investigación y la extensión, se establece a partir de una coyuntura favorable para un trabajo colectivo interdisciplinar y transversal a todas las áreas del conocimiento vinculadas al diseño y su materialización.

Para esto es imprescindible el fortalecimiento del trabajo colectivo, entendiéndolo como una habilidad a desarrollar, un ejercicio de máxima comprensión, de horizontalidad y de comunicación.

Por otra parte, la reestructura académica se reflejará en una reestructura docente que, a impulso del Consejo Directivo Central de la UdelaR, no solamente favorecerá la organización del trabajo sino la promoción del mejoramiento continuo y la formación permanente.

Es evidente que se impone una revisión y que el mejor espacio para realizarla es aquel que reanima y consolida el trabajo de los órdenes, y puede realizarse en el campo de la investigación y de la extensión, pero que exige, preferentemente, una atención muy especial en el espacio de la enseñanza.

Donald Schön, filósofo y educador de la Escuela de Arquitectura y Planeación del Instituto Tecnológico de Massachusetts [MIT], planteaba una interesante observación acerca del estudiante de arquitectura, que entiendo puede adaptarse a las restantes propuestas académicas, en la siguiente paradoja que muestra tener total vigencia: «para hacer arquitectura hay que saber de arquitectura, pero para saber de arquitectura hay que hacer arquitectura». Esta dicotomía parece dejar al estudiante sin una metodología o estructura mental clara para disponerse al aprendizaje. Sin embargo, las facultades de Arquitectura y Diseño son muestra de que, en principio, es posible aprender la disciplina o el saber a la vez que el oficio del arquitecto o del diseñador. La paradoja de Schön revela la composición doble del conocimiento disciplinar de la arquitectura y el diseño: el hacer y el saber, expresados, por un lado, en el diseño y, por otro, en el fundamento técnico-tecnológico, científico, histórico, teórico y crítico de la arquitectura (Rodríguez, 2018).

La FADU ha crecido, ha crecido mucho. Los planes desarrollados en estos últimos años demuestran que era posible saltar la valla de la discriminación y lograr que mayor cantidad de jóvenes accedieran a la formación universitaria, en un claro reflejo de mayor justicia social que permite pronosticar un futuro mejor para el Uruguay. Esto obliga a reflexionar acerca del término «masividad», si es apropiado desde el punto de vista ético y político o se trata solamente de un desafío de trabajo con mayor cantidad de jóvenes para que en el futuro haya mayor cantidad de proyectos y de oportunidades, y en qué medida las publicaciones aportan cuando los tiempos pedagógicos presenciales disminuyen.

Por lo dicho, una publicación a cargo del Instituto de Tecnología, pero abierta a todos los espacios que requieran presentar sus reflexiones, proyectos e ideas sobre la Arquitectura, el Diseño y el Urbanismo, es imprescindible, y se debe avanzar en su diseño, arbitraje de las postulaciones y difusión.

Como siempre, reconocer y agradecer a la Comisión del Instituto por la excelente idea, al decano y al Consejo por aprobarla e impulsarla, al Consejo Editorial por el trabajo, el esfuerzo y la disposición a poner en acción la reconocida capacidad. También a quienes presentaron artículos postulándose a su edición y a quienes leerán la publicación y construirán futuro enviando sus sugerencias, críticas y aportes para que este proceso no se detenga.

FERNANDO TOMEO

Director ejecutivo del Instituto de la Construcción

Bibliografía

Iñiguez, M. (2001). *La columna y el muro. Fragmentos de un diálogo.* Arquia/tesis. Fundación Arquia. España. Disponible en: https://fundacion.arquia.com/ediciones/publicaciones/colecciones/p/Colecciones/DetallePublicacion/8?searchquery=q%3d%26f_ix_catalog%3dareacultural.ediciones.publicaciones%26f_ix_type%3dpublicacion%26f_coleccion%3darquia%252ftesis%26f tipoficha%3drecurso&backurl=%2fediciones%2fpublicaciones%2fcolecciones%2farquiatesis%2f

Janniere, H. (2016). La crítica arquitectónica como objeto de investigación. *Revista de Arquitectura, 18*(2), pp. 120-134, doi: 10.14718/RevArq.2016.18.2.11

Jenkis, H. (2006). *Convergence culture. La cultura de la convergencia de los medios de comunicación.* Barcelona: Paidós Ibérica.

Lagos, L. (s.f., 2019). Evento sobre literatura científica organizado por la UdelaR. *La Diaria*, pp. 10-11.

Ligrone, P. (2012). *Teoría, de la Arquitectura, del espacio.* Montevideo: Departamento de Publicaciones, UdelaR.

Méndez, P. (2014). ARLA: Índice y portal de las Revistas Latinoamericanas de Arquitectura. Balance y Perspectivas del Primer Encuentro. Disponible en: https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/51284/CONICET_Digital_Nro.6d3c75b5-685c-49b5-a7bb-8cd1ebba8acb_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Mokyr, J. (1990). *La palanca de la riqueza. Creatividad tecnológica y progreso económico.* Madrid: Alianza Editorial.

Morales, J. R. (1999). *Arquitectónica. Sobre la idea y el sentido de la Arquitectura.* Madrid: Biblioteca Nueva.

Ordorika, I. (2018). Las trampas de las publicaciones académicas, s.d. Disponible en: https://revistadepedagogia.org/lxxvi/271/las-trampas-de-las-publicaciones-academicas/101400065058/

Quintero, C. (2018). Ontología epistemológica de la tecnología. Boletín virtual, 7 (4), pp. 44-53. Cali: Departamento de Humanidades y Arte, Universidad Santiago de Cali.

Rodríguez, D. (2018). Herencia y cultura arquitectónica. El estudiante como creador del conocimiento en arquitectura. *Dearq. La historia en la formación del Arquitecto*, (22), pp. 26-35. Disponible en: https://issuu.com/dearq/docs/dearq22_compag

Sarmiento Ocampo, J. (2016). La investigación como proceso creativo en la Arquitectura. *Dearq. Antropología y Arquitectura*, (19), pp. 146-153. Disponible en: https://revistas.uniandes.edu.co/doi/pdf/10.18389/dearq19.2016.11

Sennett, R. (2012). *Juntos. Rituales, placeres y política de cooperación.* Barcelona: Anagrama, colección Argumentos.

Vain, P. D. (1999). El diario académico: una estrategia para la formación de docentes reflexivos. *Educación Superior y Sociedad, 10* (2), pp. 155-156.

REFERENCIAS WEB

https://amelica.org

https://sci-hub.tw/

http://www.universidad.edu.uy/prensa/renderItem/itemId/43463

técnica

Técnica y arquitectura: apuntes sobre historiografía

MARY MÉNDEZ

Arquitecta (FARQ-UdelaR, 1997). Doctoranda en Arquitectura (FAPyD-UNR). Magíster en Historia y Cultura de la Arquitectura y la Ciudad (UTDT, 2013). Profesora Agregada, responsable de investigación, docente de grado y posgrado en régimen DT (IHA-FADU). Ha publicado libros y ensayos en revistas locales y extranjeras sobre la arquitectura realizada en Uruguay en la segunda mitad del siglo XX.

En el conjunto de los escritos que sustentaron la arquitectura del siglo XX pueden identificarse tres grandes períodos. El primero estuvo a cargo de los historiadores del arte, desde Heinrich Wölfflin, Wilhelm Worringer y Alois Riegl hasta Sigfried Giedion. Un segundo cuerpo de textos fue realizado por historiadores de la arquitectura, desde Bruno Zevi a Reyner Banham. Por último, un tercer período se inició con los trabajos de Peter Collins llegando, al menos, hasta Kenneth Frampton.

En los libros que se publicaron entre 1928 y 1995, las técnicas constructivas ocuparon un lugar preponderante. La relación entre técnica y arquitectura fue objeto de diversas interpretaciones, ubicándose en la base de las teorías operativas. La retórica y los argumentos utilizados por los autores buscaban establecer la materialidad como criterio basal de las prácticas.

En las páginas siguientes se rastrean los abordajes presentes en los escritos de tres autores que sentaron las bases para una consciente convalidación técnica de la disciplina: Sigfried Giedion, Reyner Banham y Kenneth Frampton. Las diferentes conceptualizaciones presentes en los textos se abordan a través del estudio de las fuentes que utilizaron y se enmarcan en los problemas de los períodos en los que fueron producidas, exponiendo las influencias reciprocas y detectando los postulados afirmados o revisados en cada caso.

Giedion

Junto con los escritos de Nikolaus Pevsner y Emil Kaufman, los textos de Giedion sentaron las bases teóricas del Movimiento Moderno, constituyendo una historia oficial que influyó en varias generaciones de arquitectos e historiadores. Nació en Suiza y se formó en historia del arte, pero estaba educado, además, en ingeniería industrial y mecánica. Pensaba que los críticos no solo debían ser capaces de captar el espíritu de su tiempo sino estar inmersos en la corriente de la historia. Afirmaba que el historiador no podía desligarse de la vida que lo rodeaba y sostenía que las pretensiones de objetividad eran una completa ficción. En consecuencia, defendía la subjetividad y la participación activa de los críticos en la construcción de una nueva arquitectura. Sostenía que era beneficioso para un investigador verse «obligado a descender de su cátedra académica y participar en las luchas del momento» (Giedion, 1955, p.7).

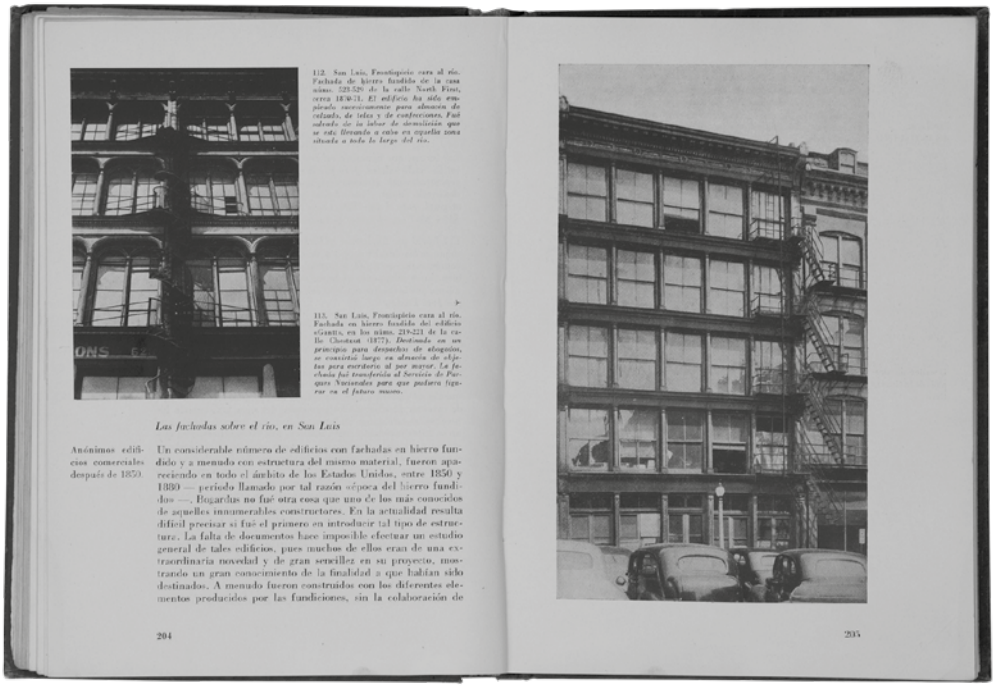
El estudio en sede formal de la arquitectura lo recibió en Munich, de Heinrich Wölfflin. A él le debe el método basado en la contraposición de estilos, formas, volúmenes y períodos, como señaló en la introducción de *Espacio, tiempo y arquitectura* de 1941. En todos los textos de Giedion es posible advertir la importancia de la idea de superación o progreso que caracteriza a la historia del arte. Por tanto, buscó analizar las fuentes de la arquitectura moderna a partir de lo que consideraba el perfecto dominio de los medios de expresión que suponía alcanzado en torno a 1927. Para ello estableció una doble genealogía basada en dos temáticas a las que les corresponden métodos contrapuestos: por un lado, el espacio, estudiado desde la continuidad, por otro la técnica, analizada desde la ruptura.

Si bien ya en *Espacio, tiempo y arquitectura* analizaba la presencia de las concepciones espaciales renacentistas, en el siglo XX la preocupación de Giedion por las continuidades se profundizó a partir de los años 50. Analizó los elementos que se mantuvieron constantes desde los comienzos de la arquitectura en los dos tomos de *El presente eterno,* redactados entre 1962 y 1964. En *La arquitectura, fenómeno de transición*, su último texto, culminado en 1967, dividió la historia en relación a tres concepciones del espacio.[1]

Pero fueron las rupturas introducidas por la técnica las que constituyeron el primer tópico abordado por Giedion, y, por tanto, son las que articulan el libro de 1928, *Building in France. Building in iron. Building in ferroconcrete.* Allí sostenía que las obras de hierro de los ingenieros y las de hormigón armado de los arquitectos franceses habían sido gestadas en un mismo espíritu. En consecuencia, afirmaba que el origen de la arquitectura del siglo XX había que buscarlo en la ingeniería de la primera mitad del siglo XIX.

En la introducción afirmaba que la arquitectura que se denominaba «nueva» tenía al menos un siglo de desarrollo. Sostenía que la arquitectura moderna se había gestado en torno a 1830, en el tránsito de la producción artesanal a la industrial. En consecuencia, los arquitectos solo habían logrado darle forma habitable a los adelantos técnicos disponibles. La construcción del siglo XIX representaba así una especie de inconsciente de la arquitectura moderna.

1. La primera fase estaba referida a la arquitectura de espacios radiales de las civilizaciones de Egipto, Mesopotamia y Grecia. La segunda se basaba en el espacio interior, romano, medieval, renacentista y barroco. Finalmente, en el siglo XX, la tercera concepción era una síntesis entre las dos primeras, integrando el volumen con el espacio interior. En un brevísimo capítulo abordó la incidencia del uso del hormigón y el hierro en el período de transición entre la segunda y tercera idea del espacio desde Roma hasta la Escuela de Chicago (Giedion, 1975).



112. San Luis, Frontispicio cara al río. Fachada de hierro fundido de la casa núms. 523-529 de la calle North First, cerca 1870-71. *El edificio ha sido empleado sucesivamente para almacén de calzado, de telas y de confecciones. Fué salvado de la labor de demolición que se está llevando a cabo en aquella zona situada a todo lo largo del río.*

113. San Luis, Frontispicio cara al río. Fachada en hierro fundido del edificio «Gentis», en los núms. 219-221 de la calle Chestnut (1877). *Destinado en un principio para despachos de abogados, se convirtió luego en almacén de objetos para escritorio al por mayor. La fachada fué transferida al Servicio de Parques Nacionales para que pudiera figurar en el futuro museo.*

Las fachadas sobre el río, en San Luis

Anónimos edificios comerciales después de 1850.

Un considerable número de edificios con fachadas en hierro fundido y a menudo con estructura del mismo material, fueron apareciendo en todo el ámbito de los Estados Unidos, entre 1850 y 1880 — período llamado por tal razón «época del hierro fundido» —. Bogardus no fué otra cosa que uno de los más conocidos de aquellos innumerables constructores. En la actualidad resulta difícil precisar si fué el primero en introducir tal tipo de estructura. La falta de documentos hace imposible efectuar un estudio general de tales edificios, pues muchos de ellos eran de una extraordinaria novedad y de gran sencillez en su proyecto, mostrando un gran conocimiento de la finalidad a que habían sido destinados. A menudo fueron construidos con los diferentes elementos producidos por las fundiciones, sin la colaboración de

204

205

FIGURA 1. FACHADAS EN HIERRO FUNDIDO DE EDIFICIOS COMERCIALES EN SAN LUIS.
FUENTE: *ESPACIO, TIEMPO Y ARQUITECTURA. EL FUTURO DE UNA NUEVA TRADICIÓN* DE GIEDION, S., 1955, PP. 204-205, BARCELONA: CIENTÍFICO MÉDICA. FOTOGRAFÍA: MARÍA NOEL VIANA, SMA.

Hay que recordar, también, que Giedion materializó ese libro a partir de una serie de ensayos sobre la «nueva» arquitectura que fueron publicados en medios de prensa, en momentos en que sostenía estrechos vínculos con Walter Gropius y con Le Corbusier. El texto se presentaba entonces como una versión consensuada con los principales operadores del período.

En *Espacio, tiempo y arquitectura,* Giedon incorporó gran parte de *Building in France. Building in iron. Building in ferroconcrete.* Dedicó el capítulo tres al desarrollo de las nuevas posibilidades que se abrieron para la arquitectura con el hierro y las estructuras metálicas, constituyendo el principio de «una gran tradición» que incorporaba la arquitectura norteamericana a través de los trabajos de James Bogardus, los edificios industriales de San Luis y los rascacielos de Chicago, junto con las obras en hierro de Henry Labrouste en París.

En *La mecanización toma el mando,* de 1948, se concentró en los modos de producción desde los métodos artesanales hasta la industrialización seriada en Estados Unidos. Convencido de que para el historiador no hay cosas insignificantes, su objeto de estudio se componía de los utensilios que configuraron la vida moderna, aquellos objetos humildes y modestos que conmovieron la vida cotidiana.

El texto se abre con dos capítulos iniciales que sientan las bases conceptuales. El movimiento y los medios de la mecanización, desde la mano hasta la

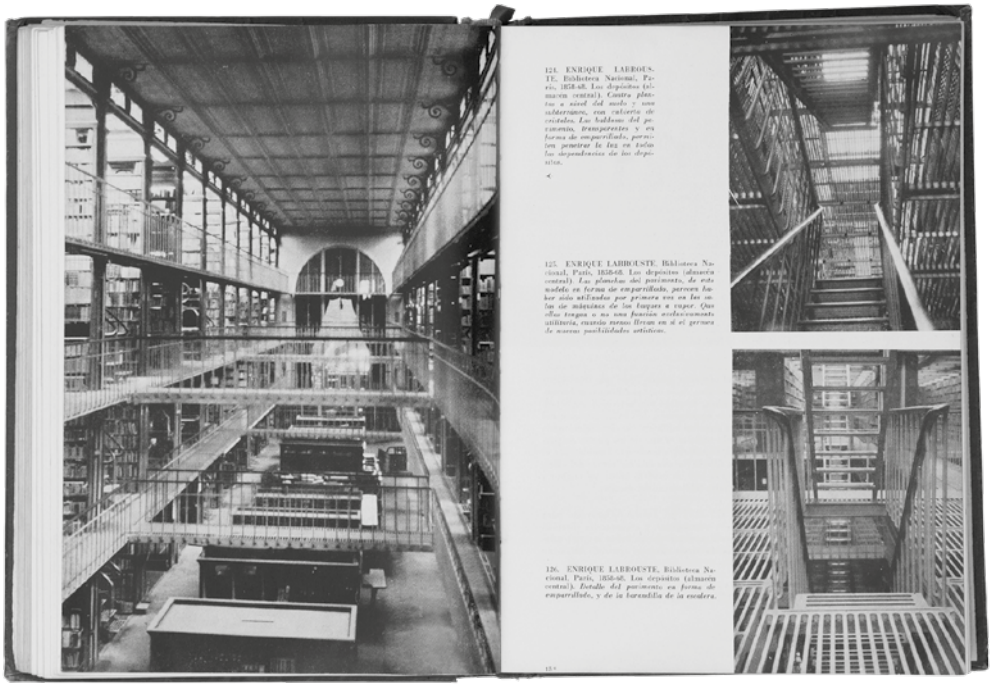


FIGURA 2. IMÁGENES DE LOS DEPÓSITOS DE LA BIBLIOTECA NACIONAL DE PARÍS DE HENRY LABROUSTE. FUENTE: *ESPACIO, TIEMPO Y ARQUITECTURA. EL FUTURO DE UNA NUEVA TRADICIÓN* DE GIEDION, S., 1955, PP. 228-229, BARCELONA: CIENTÍFICO MÉDICA. FOTOGRAFÍA: MARÍA NOEL VIANA, SMA.

cadena de montaje, se asumían como los datos sobre los que se apoyaba la realidad moderna y se describían basándose en la idea de superación progresiva. A continuación, se presentaba la consecuencia de la mecanización en la agricultura, la panificación y la industria cárnica, analizando la progresiva disección de la unidad artesanal del trabajo en fases aisladas.

Las dos terceras partes del libro estaban dedicadas al problema del confort y el mobiliario, desde el anónimo de la Edad Media hasta el desarrollado por los arquitectos modernos, pasando por las patentes de los ingenieros del siglo XIX y el equipamiento destinado a los trenes. El mobiliario nómade para acampar, la mecanización de los artefactos de uso doméstico y su incidencia en la transformación de cocinas y comedores ocupaban un lugar destacado en el análisis.

A partir de las propuestas de Buckminster Fuller, Giedion consideraba la posible agrupación de los artefactos en un núcleo mecánico central. Sin embargo, afirmaba que la tarea de la mecanización no consistía en entregar casas prefabricadas, sino elementos flexibles y estandarizados que permitieran diversas combinaciones. La casa Dymaxion, pensada como elemento reproducible, le resulta una suerte de pesadilla para los planificadores de ciudades y el baño prefabricado de Fuller, un grotesco retroceso.

El libro concluye así con una visión crítica de la mecanización, que, si bien no pretende aprobar o desaprobar los resultados, exhorta a la búsqueda de equilibrios entre el individuo y la sociedad, lo físico y la vida mental, las distintas esferas del conocimiento, entre el cuerpo humano y el cosmos, entre el organismo y lo artificial como requisitos del nuevo hombre. Giedion esperaba el advenimiento, diríamos en términos casi mesiánicos, de un hombre nuevo que, vuelto a ser humano a través del uso adecuado de la técnica, lograría reestablecer el equilibrio dinámico que regiría en adelante sus relaciones con el mundo.

Banham

Educado como ingeniero industrial, Bahman entendía que todas las transformaciones que merecían destacarse estaban indisolublemente ligadas a los cambios en la ciencia y la tecnología. El acceso a las fuentes de energía, los avances en la electrónica y su incidencia en la vida cotidiana determinaban la época que estaba viviendo, la segunda era de la máquina.

Los textos del crítico inglés tenían dos objetivos básicos. En primer lugar, se proponían cuestionar la directa relación de la arquitectura de los maestros modernos con la técnica constructiva y los sistemas portantes, la relación en la que se fundaban los escritos de Giedion. En segundo lugar, buscaban instalar una relación «auténtica» entre la arquitectura de su tiempo y los avances tecnológicos.

En *Teoría y diseño en la primera era de la máquina*, la tesis que Banham publicó en 1960, analizó el equívoco sobre el que se fundaban los estudios de los historiadores del Movimiento Moderno. Demostró que esa arquitectura heroica era, en lugar de rupturista, continuadora de los modos académicos de proyecto. A su juicio, los arquitectos modernos habían pretendido llevar a cabo una misión imposible: conciliar el estatismo de la estética clásica con el impulso dinámico de las nuevas tecnologías.

Para demostrarlo consideró la presencia de la tradición académica en las obras de Auguste Perret, Peter Behrens, Gropius y Le Corbusier a través del estudio de los textos de Julian Guadet, de Auguste Choisy, de W.R. Lethaby y Geoffrey Scott. Con esta operación disminuía la incidencia de los ingenieros en la prehistoria de la modernidad.

La formación de Banham estuvo fuertemente influida por el historiador Nikolaus Pevsner y quizás por eso, precisamente, pudo discutir las bases de su pensamiento. Banham señaló la presencia de lineamientos de la tradición académica en la fábrica de la AEG de Behrens, de 1908, y en las fábricas Fagus de 1911 y la modelo de la Deutscher Werkbund de 1914, ambas de Gropius y Adolf Meyer. Los tres casos constituían la trilogía modélica del libro *Pioneros del diseño moderno*, publicado por Pevsner en 1936. Banham expuso también el engaño de la toma fotográfica más divulgada de la Fábrica Fagus, contrastando la modernidad del edificio del taller con el de los otros cuerpos más tradicionales no fotografiados.

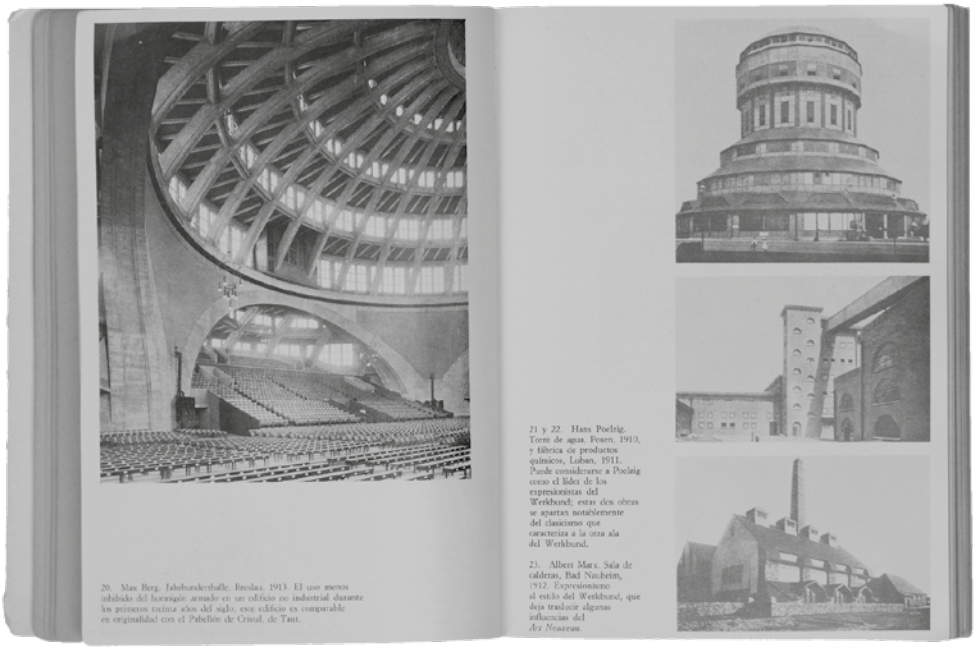


FIGURA 3. FOTOGRAFÍAS DE LAS OBRAS DE BERG, POELZIG Y ALBERT MARX PUBLICADAS POR BANHAM. FUENTE: *TEORÍA Y DISEÑO EN LA PRIMERA ERA DE LA MÁQUINA* DE BANHAM, R., 1985, S.P., BARCELONA: PAIDÓS. FOTOGRAFÍA: MARÍA NOEL VIANA, SMA

Construyendo otra genealogía, Banham estableció una serie constituida por Bruno Taut, Buckminster Fuller, Max Berg y Hans Poelzig, presentados como un modelo eficaz para asegurar el éxito de la producción futura. En las obras de Berg valoraba la importancia del hormigón armado y consideraba el Pabellón de la Industria Siderúrgica en Leipzig y el Pabellón de Cristal en Colonia de Taut como «dos estructuras destinadas a poner de manifiesto la naturaleza del material al cual sirven de propaganda» (Banham, 1985, s.p.).

Contradiciendo a Giedion, Banham consideraba a Buckminster Fuller como el crítico más agudo en contra del formalismo. Presentó la casa Dymaxion de 1927 como ejemplo de vivienda técnicamente avanzada, contrastándola con la tradicional Villa Saboye. Destacó el concepto que presidía la casa de Fuller, un espacio habitable que no hacía concesiones a la forma, sino que respondía a las necesidades funcionales con servicios mecánicos, que utilizaba materiales nuevos como el duraluminio y que presentaba un sistema portante no derivado de imponer una estética «perretiana», sino que adaptaba los métodos empleados por la industria aeronáutica para el trabajo con aleaciones ligeras.

Banham afirmaba que mientras Le Corbusier distribuyó los servicios domésticos de manera tradicional en los ambientes convencionales, Fuller concibió el equipo mecánico como un conjunto homogéneo, agrupándolo en el núcleo central de servicio para el espacio servido que lo rodea. Cerrando el círculo argu-

mentativo, conectó la Dymaxion House con las propuestas futuristas. Sostenía que la casa de Fuller era «ligera, fácilmente cambiable, construida con esos sustitutos de la piedra, el ladrillo y la madera de los que hablaba Sant´Elía» (Banham, 1985, p.319), y consideraba que «en la idea de un núcleo central distribuidor de servicios al espacio adyacente se oye un eco de la teoría de los campos de Boccioni, con objetos distribuyendo líneas de fuerza al ambiente que los rodea» (Banham, 1985, p.319).

Teoría y diseño en la primera era de la máquina fue un texto crítico, que narraba un fracaso y presentaba otra posible narración de éxito, basada en otra serie discursiva. Era, además, un texto operativo, ya que la narración pretendía entroncar con lo que se postulaba como verdadera producción moderna y establecer así nuevas bases para la arquitectura de su tiempo, corrigiendo el intento fallido de la primera etapa de la modernidad. Más específicamente, el texto era un exhorto a los arquitectos que se proponían seguir la rápida marcha de la tecnología para que imitasen a los futuristas y dejaran de lado «las vestiduras profesionales mediante las cuales todo el mundo los reconoce como arquitectos» (Banham, 1985, p.322). Al oponer otra genealogía para la producción arquitectónica de los años veinte pretendía reubicar la producción de los años sesenta en relación con la «verdadera esencia» de la modernidad.

En los textos posteriores se advierte una concentración del interés de Banham en los problemas relativos a las infraestructuras. La técnica, que en *Teoría y diseño* estaba relacionada con los materiales y los sistemas portantes, adquirió en ellos conceptos vinculados al confort y al acondicionamiento del ambiente. El artículo *Un hogar no es una casa*, de 1965, y *La arquitectura del entorno bien climatizado,* publicado en inglés en 1969, continuaban las conclusiones de *Teoría y diseño* con sus observaciones respecto al pensamiento y las propuestas de Fuller.

La posibilidad de continuar las promesas incumplidas del Movimiento Moderno se manifestó de modo utópico en su propuesta de burbuja ambiental. En la burbuja, como en la Dymaxion, un aparato mecánico central posibilitaba la vida natural de sus habitantes. La desestimación de la forma adquiría en esta propuesta niveles irónicos y la transparencia de la membrana posibilitaba que se pudiera disfrutar de vistas espectaculares e incluso de vientos arrasadores desde la seguridad de un espacio habitable, climatizado y confortable. La ligereza de la burbuja le permitía además pensar en la posibilidad de un habitar nómade y en el tránsito por un territorio liberado y servido de energía, un romántico retorno a la naturaleza por la vía de la técnica.

De modo más real y práctico, Banham abordó en *La arquitectura del entorno bien climatizado* el problema de la creación de los edificios y la distinción entre estructura, presente en los estudios históricos, evaluable y discutible, y los controles ambientales mecánicos, que considera excluidos de toda discusión histórica. En la introducción señaló como los historiadores de la arquitectura trataron casi exclusivamente sobre las formas externas de los volúmenes habitables en dependencia del sistema portante y como negaron sistemáticamente la incidencia de los cambios en las infraestructuras.

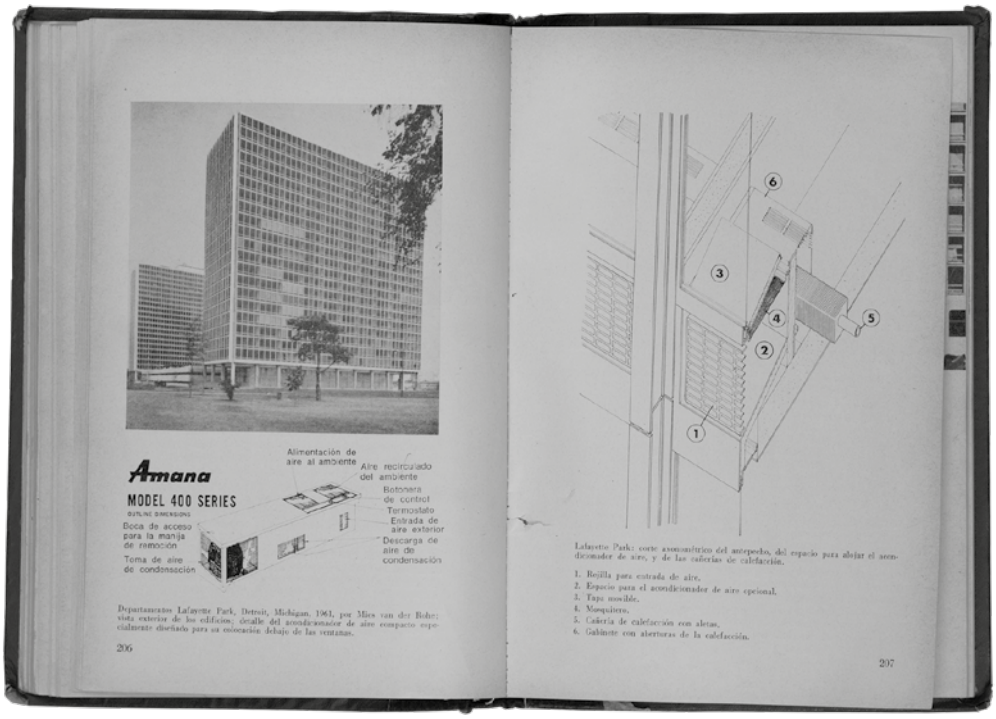


FIGURA 4. DETALLES DE LOS SISTEMAS DE ACONDICIONAMIENTO CLIMÁTICO PREVISTOS POR MIES VAN DER ROHE EN EL LAFAYETTE PARK EN DETROIT. FUENTE: *LA ARQUITECTURA DEL ENTORNO BIEN CLIMATIZADO* DE BANHAM, R., 1975, PP. 206-207, BUENOS AIRES: INFINITO. FOTOGRAFÍA: MARÍA NOEL VIANA, SMA.

Esta situación se reflejaba no solo en los estudios históricos, sino que tenía gran incidencia en la enseñanza de los futuros profesionales. Así, en este texto, Banham se propuso sustituir la primacía de la estructura en la materialización de la arquitectura, característica de los textos anteriores, por la repercusión de los modos mecánicos para el control ambiental.

En este texto, *La mecanización toma el mando* de Sigfried Giedion es citado como uno de los pocos antecedentes sobre los controles mecánicos del entorno. Sin embargo, Banham señalaba que, pese a la efusiva recepción que tuvo el libro, no merecía tanto crédito. El prestigio del texto de Giedion le parece comprensible solo dada la «ignorancia e inseguridad y cabal pobreza del discurso académico sobre la materia» (Banham, 1975, p.12). La importancia de *La mecanización toma el mando* es atribuida exclusivamente al prestigio del autor y no en relación a sus argumentos. Es más, Banham opinaba que dicho libro había dejado todo por decir, que fue apenas una tentativa inicial en este campo de estudio, pero que de ninguna manera se trataba de un trabajo decisivo.

Por tanto, si bien en *La arquitectura del entorno bien climatizado* reconoce a Giedion como antecedente, expresa una opinión más bien negativa. Su postura es crítica también respecto al método utilizado por Giedion. El análisis basado en

el registro de patentes para certificar la primacía legal de una invención determinada y sus fechas exactas le resulta totalmente desprovisto de valor para la historia de la arquitectura. Afirmaba que en la construcción es menos importante la fecha de la invención de un sistema que su disponibilidad comercial, por lo tanto, sus análisis pretenden registrar el uso típico y masivo de un determinado sistema. Los edificios seleccionados por Banham eran entonces de los primeros y no los primeros, desarticulando el modo de selección de los casos usados por Giedion en la mayoría de sus trabajos.

En *La arquitectura del entorno bien climatizado* Banham hizo referencia al problema del acondicionamiento del medio que caracterizaba a dos culturas constructivas: las sedentarias y las nómades. Las primeras, predominantes, estaban referidas a la cueva primitiva, origen de las estructuras masivas y permanentes. Las otras eran alternativas y tenían que ver con la protección contra agentes climáticos de modo individual o colectivo mediante el abrigo, generando así una espacialidad versátil dependiente de las condiciones ambientales del fuego. Banham objetaba las primeras, por ser funcionalmente rígidas y demasiado costosas, mientras que afirmaba la validez de las otras, más livianas, alentadas por el entusiasmo futurístico de la era de la máquina.

En el capítulo *Energía expuesta* dedicó unas palabras al movimiento inglés Archigram. Banham suponía que la cómoda relación con la tecnología que manifestaban las propuestas del grupo podría llegar a satisfacer los requerimientos ambientales al tiempo que generar una arquitectura que determinara su forma a partir de los dispositivos. El utópico argumento del autor reaparece con intensidad en *Megaestructuras. Futuro urbano del pasado reciente*, publicado en 1976. Celebraba aquí la arquitectura de la década anterior, las obras de los metabolistas japoneses, de Cedric Price, el Urbanismo Espacial de Yona Friedman y nuevamente las propuestas de Archigram. Al explorar los antecedentes de las megaestructuras, Banham encuentra lo que buscaba: el futurismo italiano y las propuestas de Antonio Sant´Elía. Las ubica en línea con la «autentica» genealogía de la arquitectura moderna, dando cumplimiento a las esperanzas que había manifestado en *Teoría y diseño.*

Banham consideraba a las megaestructuras como la crisis final de la arquitectura moderna y de ahí la importancia de este libro en su pensamiento. Las obras de Alison y Peter Smithson, el proyecto de Louis Kahn para Filadelfia y algunas propuestas de James Stirling se presentaban como intentos conscientes de generar una arquitectura donde se concediera prioridad a los problemas circulatorios, a la climatización del ambiente, los servicios, las grandes estructuras de soporte y la prefabricación de módulos de vivienda ejemplificada en las obras para la exposición de Montreal de 1967.

El texto culmina con la constatación del ocaso del movimiento megaestructural. El final de las «buenas intenciones» de esta «experiencia fascinante y estimulante» era atribuido por Banham al temor que los arquitectos tenían a perder el control sobre las ciudades y el ambiente. Atribuye la causa de su destrucción a la libertad que significaron las megaestructuras dado que «ningún arquitecto

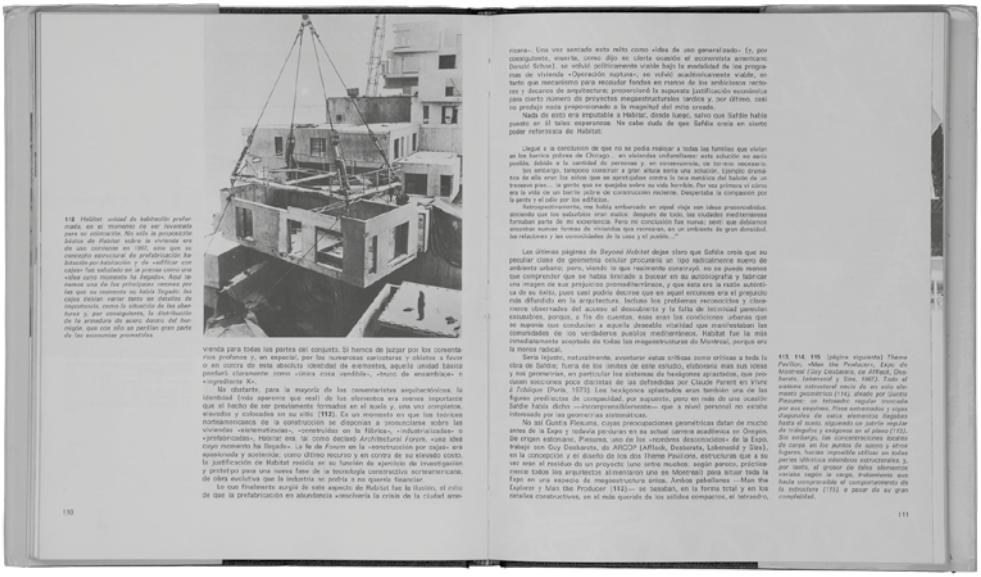


FIGURA 5. UNIDADES PREFABRICADAS DE VIVIENDA DEL CONJUNTO HABITAT PROYECTADO POR MOSHESADFIE EN MONTREAL. FUENTE: *MEGAESTRUCTURAS. FUTURO URBANO DEL PASADO RECIENTE* DE BANHAM, R., 1978, PP. 110-111, BARCELONA: GUSTAVO GILI. FOTOGRAFÍA: MARÍA NOEL VIANA, SMA.

que se considere digno de su profesión puede tolerar el hecho de ser testigo de la destrucción de sus proyectos, especialmente si se trata de magnos proyectos a escala de ciudad, la megaestructura demostró ser un concepto autosupresor» (Banham, 1978, p.217).

El relato expone así un análisis del fracaso de los buenos bríos que fueron capaces de generar «locuras monumentales». Pero a pesar de que el movimiento haya sido *«abandonado* cual blanquecino esqueleto en el sombrío horizonte de nuestro pasado arquitectónico reciente» *(Banham,* 1978, p.11), el autor manifiesta la potencia creativa que todavía detenta y su capacidad para estimular a las nuevas generaciones.

Frampton

Es en los *Estudios sobre cultura tectónica,* de 1995, donde con más claridad se advierte el interés de Frampton por los problemas técnicos de la arquitectura. No obstante, este interés se evidencia en un texto anterior, su trabajo más divulgado, *Historia crítica de la arquitectura moderna*, escrito en 1981 y varias veces reeditado entre esa fecha y 2008.

En la primera parte de este libro presentó los cambios de los que surgió la arquitectura moderna mediante el estudio de tres campos: culturales, territoriales y técnicos. Las transformaciones culturales se ubicaron hacia la mitad del

siglo XVIII abordando la crisis del orden clásico, siguiendo los estudios de Kaufmann, Joseph Rykwert y Manfredo Tafuri. Los cambios en los modos de control del territorio se referían al desarrollo urbano de París bajo las órdenes de Georges-Eugène Haussmann, los que ya habían sido exhaustivamente estudiados por Leonardo Benevolo, entre muchos otros.

Sin embargo, estos dos temas, analizados a modo de causas en la primera parte del libro, tienen poca relación con los casos analizados en la segunda. Por otra parte, Frampton dedicó bastante más páginas a las transformaciones de la ingeniería y el racionalismo estructural francés que a los dos temas anteriores. Y, además, los problemas técnicos se siguen con claridad en el desarrollo del capítulo *Una historia crítica, 1836-1967*, evidenciando así la importancia que el tópico de la técnica tenía para el autor.

Como buen inglés, Frampton dio inicio a esta sección con la genealogía convalidada por Pevsner: la trayectoria de William Morris y las Arts & Crafts, continuada por las obras de Dankmar Adler y Louis Sullivan. Cuando analizó los rascacielos de Chicago hizo depender las nuevas formalizaciones casi exclusivamente de la estructura de acero. La incidencia del pensamiento estructural francés se establece a través de la influencia de Eugène Viollet-le-Duc en Antoni Gaudí, en Victor Horta y Hendrik P. Berlage. Perret fue presentado como el mejor exponente de un racionalismo evolucionado mientras que en el capítulo dedicado a Mies se insiste en la relación de los problemas estructurales con la forma arquitectónica. Esta segunda parte del libro culmina con un breve pero importante capítulo donde pone en relación las obras de Fuller con las de Kahn y, nuevamente, con Viollet-le-Duc.

En el capítulo agregado a la última edición, redactado en el 2007, Frampton realizó una taxonomía en la que desarrolló seis temas o tendencias significativas en la práctica arquitectónica de esos años. La positiva valoración respecto a la expresividad de los distintos materiales de construcción fue una de ellos. La materialidad fue analizada haciendo manifiesta referencia a Gottfried Semper y sus cuatro elementos de la arquitectura.

Con esta fundamentación Frampton vinculó la *Historia critica de la arquitectura moderna* con sus *Estudios sobre cultura tectónica*. En este otro escrito de 1995 el énfasis se puso en el protagonismo de los materiales de construcción y su expresión formal, tomando como antecedente explícito la distinción «semperiana» entre estructura y cerramiento. Semper aparece allí como el protagonista principal de la argumentación.

Los fundamentos básicos de *Estudios sobre cultura tectónica* se prefiguraron ya en 1986, en la conferencia que Frampton dictó en la Universidad de Rice en Texas. Si bien el libro se publicó diez años después, mantuvo sus objetivos fundamentales: enriquecer la prioridad concedida al espacio por la necesaria reconsideración de los modos constructivos y estructurales con el objetivo de estudiar la historia del potencial expresivo de la técnica constructiva. Esto es, la tectónica en su faz poética.

Frampton consideraba que desde fines del siglo XIX, August Schmarsow mediante, la esencia de la creación arquitectónica había sido concedida al espacio, análisis que reflejaban los abordajes presentes en las historias de la

FIGURA 6. «MATERIALIDAD EXPRESIVA» EN LAS OBRAS DE JACQUES HERZOG & PIERRE DE MEURON Y DE PETER ZUMTHOR. FUENTE: *HISTORIA CRITICA DE LA ARQUITECTURA MODERNA* DE FRAMPTON, K., 2009, PP. 374-375, BARCELONA: GUSTAVO GILI. FOTOGRAFÍA: MARÍA NOEL VIANA, SMA.

arquitectura desde Giedion hasta Cornelis Van de Ven. El texto es analítico, pero también operativo. Como otros historiadores pretendía situar una nueva genealogía, esta vez partiendo de Semper y su distinción entre dos procedimientos técnicos fundamentales, la tectónica estructural con delgados elementos a la tracción y la estereotómica, las pesadas masas trabajando a la compresión.

Esta distinción resultaba útil para la crítica, pero se convirtió también en un argumento atractivo para sustentar teóricamente las prácticas de los proyectistas. Los avances de Semper se presentaron con una carga de atemporalidad tan relevante como los análisis espaciales presentes en el último Giedion. La genealogía derivaba por la técnica neogótica de AugustusPugin y Viollet-Le-Duc hasta Labrouste, continuaba con Karl Friedrich Schinkel y Frank. L. Wright, muy apreciado por la tectónica textil de sus obras que se posicionaron en íntima relación con los modos constructivos tradicionales de la arquitectura japonesa.

Los capítulos siguientes se dedicaron a Perret y al hormigón armado mediante un análisis ya muy convalidado, mientras que las obras de Mies se vincularon con la capacidad tecnológica de la época y con el legado romántico. El texto continuaba demostrando la influencia del racionalismo estructural en la producción de Kahn, abordando las preocupaciones de Jørn Utzon por la expresividad de la estructura y la construcción, «la veneración de la junta» de Carlo Scarpa y su cuidada estrategia de montaje.

En el capítulo diez, *Postcriptum: la trayectoria tectónica, 1903-1994*, Frampton (1999) señalaba que ningún estudio sobre la cultura edificatoria moderna había reconocido el papel fundamental de la ingeniería estructural, en un reclamo similar al que hacía Banham respecto a los dispositivos de control ambiental.

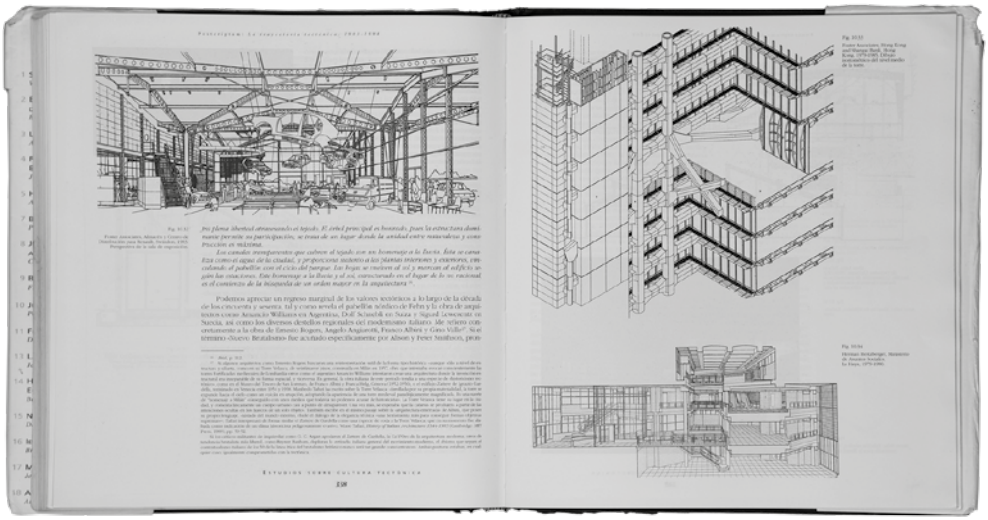


FIGURA 7. PROYECTOS DE FOSTER PUBLICADOS POR FRAMPTON. FUENTE: *ESTUDIOS SOBRE CULTURA TECTÓNICA. POÉTICAS DE LA CONSTRUCCIÓN EN LA ARQUITECTURA DE LOS SIGLOS XIX Y XX* DE FRAMPTON, K., 1999, PP. 338-339, MADRID: AKAL. FOTOGRAFÍA: MARÍA NOEL VIANA, SMA.

En este capítulo se resumía el origen de la genealogía: Semper influyó sobre Berlage, quien también recibió la enseñanza de Viollet-Le-Duc. Berlage aparecía entonces como el eslabón que vinculaba las dos tradiciones del racionalismo estructural, el alemán y el francés. Le Corbusier aparecía en la serie tectónica a partir de la casa de fin de semana de 1935 y de la casa de verano en Mathes que ponían en juego, según señalaba Frampton, la sintaxis constructiva. Avanzando hacia la arquitectura de los años setenta y ochenta, las obras de Norman Foster eran destacadas como la interacción entre tecnología, sintaxis tectónica y forma masiva.

El carácter operativo y claramente político del texto se manifestaba sin restricciones en el epílogo. A pesar de su marginalidad, la cultura tectónica poseía para él «un núcleo vestigial resistente [...] al avance maximizador del capitalismo determinado [...] por el proceso global de mercantilización» (Frampton, 1999, p.355).

Epílogo

En estos tres autores la técnica fue objeto de diversas interpretaciones que estuvieron cargadas de intenciones retóricas. Giedion la consideró desde los sistemas constructivos y la naturaleza de los materiales, sosteniendo que esta determinaba directamente la lógica formal del Movimiento Moderno. En esa relación residía la esencia de una arquitectura blanca, de superficies planas y volúmenes regulares. Contrariamente, las simulaciones, la falsa apariencia y los velos fueron acusados de antiéticos y engañosos, acudiendo a motivos diferentes, ya sean económicos, simbólicos o ideológicos.

Luego de la Segunda Guerra la historiografía mantuvo la valoración de la técnica como paradigma de la producción arquitectónica. Si bien la técnica compartió con el pensamiento funcionalista y la «espacística» el primer lugar en las teorías arquitectónicas, los escritos de Banham demostraron la continuidad y la relevancia del tema hasta el último cuarto del siglo XX. A partir de los años ochenta la técnica como paradigma prácticamente cayó en el olvido, siendo sustituido por las vertientes formalistas que caracterizaron a la arquitectura sustentada por los influyentes textos de Robert Venturi y Charles Jenks, entre otros.

A fines de los años 90 los problemas técnicos volvieron a cobrar interés para colocarse nuevamente como base de la producción. Desde una pretendida universalidad, Frampton interpretó la técnica como materialización expresiva, atemporal, de los sistemas constructivos, buscando enriquecer la prioridad concedida al espacio con la necesaria reconsideración de los modos constructivos y estructurales. En este sentido, consideremos también la repercusión del libro *Técnica y arquitectura en la ciudad contemporánea*, publicado en 1992 por los españoles Iñaki Ábalos y Juan Herreros, manifiestamente continuador de las ideas de Banham y, según los propios autores, escrito con el objetivo de estudiar «las mediaciones entre evolución tecnológica y transformación de los ideales de la arquitectura en las últimas décadas» (Ábalos y Herreros, 1992, p.11).

Esto se acompañó de la positiva valoración respecto a la expresividad de los distintos materiales de construcción, una temática relevante en la propuesta de taxonomía ofrecida por el mismo Frampton y en los discursos de arquitectos como Herzog & De Meuron, Peter Zumthor o Jean Nouvel, las exposiciones sobre las pieles ligeras del MoMA, la incidencia de la estructura en la forma resultante de los edificios y la importancia alcanzada por las oficinas de ingenieros en los estudios de los arquitectos.

Bibliografía

Ábalos, I. y Herreros, J. (1992). *Técnica y arquitectura en la ciudad contemporánea. 1950-1990.* Madrid: Nerea.

Banham, R. (1975). *La arquitectura del entorno bien climatizado.* Buenos Aires: Infinito.

Banham, R. (1978). *Megaestructuras. Futuro urbano del pasado reciente.* Barcelona: Gustavo Gili.

Banham, R. (1985). *Teoría y diseño en la primera era de la máquina.* Barcelona: Paidós.

Frampton, K. (1999). *Estudios sobre cultura tectónica. Poéticas de la construcción en la arquitectura de los siglos XIX y XX.* Madrid: Akal.

Frampton, K. (2009). *Historia critica de la arquitectura moderna.* Barcelona: Gustavo Gili.

Giedion, S. (1955). *Espacio, tiempo y arquitectura. El futuro de una nueva tradición.* Barcelona: Científico Médica.

Giedion, S. (1975). *La arquitectura, fenómeno de transición. Las tres edades del espacio en arquitectura.* Barcelona: Gustavo Gili.

Giedion, S. (1978). *La mecanización toma el mando.* Barcelona: Gustavo Gili.

Los espesores de la piel

SOFÍA GAMBETTA

Arquitecta (FADU-UdelaR, 2017). Candidata a especialista (Diploma en Construcción de Obras de Arquitectura, FADU-UdelaR). Ayudante Honoraria del curso de TFC en Taller Articardi. Docente Ayudante del Instituto de la Construcción (FADU-UdelaR), donde realiza tareas de asesoramiento en planes de calidad para el POMLP de UdelaR. Actualmente, su trabajo como investigadora se centra en materiales y sistemas constructivos innovadores.

Resumen

Las pieles no son solo cerramiento, no son solo las fachadas ni el filtro con el exterior, no son simplemente estéticas o constructivas. Son un vector de las percepciones y posibilidades del proyecto, desde el usuario y desde sí mismo. En el artículo se presenta una propuesta que abre la idea de espesor de las pieles tanto en su condición dimensional como conceptual, además de la pertinencia de su resolución técnica para atravesar las barreras entre lo ideal y lo real. La propuesta aborda la cuestión del desdoblamiento del concepto de espesor, en el que la piel puede ser espacio y el espacio puede ser piel a la par de que se gestionan diversas formas de energía e información a través de ella, convirtiéndola en los momentos del proyecto. A través de un dispositivo espacial, convertible, móvil y semihabitable, se propone el ensanchamiento del espacio de intercambio de un edificio existente —su piel— con el entorno. Al mismo tiempo, se exploran posibilidades para la propia piel de ese dispositivo, que pretende ser flexible, interactivo, dinámico y responsivo, enfocándose en su capacidad de comportamiento como interfase y en el efecto que genera en el usuario. Por último, mediante la propuesta se exploran las potencialidades técnicas y matéricas de resolución, incorporando sistemas hidráulicos de movimiento, configuraciones de plegados, uso de nuevos materiales y procesos de creación, fabricación y gestión digital.

Introducción

El concepto de piel, originario de las ciencias biológicas, es, muchas veces, usado en arquitectura para catalogar, sin demasiado rigor, a todos o a algunos de los subsistemas de cerramientos exteriores de un objeto arquitectónico. Friedensreich Hundertwasser, en su teoría de las cinco pieles (Rand, 1994), plantea a la vivienda como la tercera protección frente al ambiente después de la vestimenta y la epidermis. Sin embargo, una piel, definida en el contexto de su disciplina original, la biología, es mucho más que protección. Es, por excelencia, el órgano de intercambio de un organismo con el ambiente. De este modo, no cualquier cerramiento, filtro o fachada exterior de un edificio pueden calificarse como piel. En palabras de Manuel Gausa, «la piel no es un alzado neutro sino una membrana activa, informada, comunicada y comunicativa» (Gausa et al., 2002, p.467). En este sentido es que toma pertinencia el concepto de espesor en las pieles arquitectónicas. Si es un órgano vivo, si tiene una función de intercambio, entonces, tanto conceptual como dimensionalmente, su espesor será aquel que sea necesario para lograr esa función en un contexto determinado. «Pieles colonizadas por elementos funcionales capaces de alojar instalaciones y servicios; capaces de captar y transmitir energías; pero también capaces de soportar otras capas incorporadas: solapadas más que adheridas» (Gausa et al., 2002, p.467).

Quizás la función principal de los cerramientos exteriores de un edificio continúe siendo la original, de protección frente a agentes climáticos; pero estos juegan también un papel decisivo en otros aspectos relacionados a las percepciones y particularidades del proyecto. Con todo, estos cerramientos no son siempre órganos de intercambio. Al desdoblar el concepto de piel e incorporar el intercambio como una premisa, estos cerramientos se convierten en espacios. En lugares intermedios, definidos tanto por sus aspectos geométricos como por las sensaciones que provocan, recorridos mientras se cambia de medio o de estado físico (Ballesteros citado por Gausa et al., 2002).

El objetivo de este artículo es presentar un caso en el que se estudia la aplicación de este concepto ampliado, de piel espesa, en el que la piel es espacio y el espacio es piel a diversas escalas, dialogando con los datos de la realidad de su contexto. Se propone la intervención en un edificio existente, investigando modos de la misma, para poder transformar su situación actual. Se estudia, asimismo, la pertinencia de la correlación entre el concepto teórico y la resolución técnica y matérica del objeto, contemplándose el diseño desde una visión holística. De este modo, se propone una piel espesa que sea un órgano, que incorpore vectores capaces de integrar posibilidades.

Proyecto

La reflexión planteada se aborda a través de una propuesta concreta: la instalación de un dispositivo prototípico en un edificio existente para dotarlo de un

FIGURA 1. INTERVENCIÓN COMO EXTENSIÓN.

intercambio apto con el entorno, algo que su cerramiento actual no es capaz de brindarle. Para Gausa «toda arquitectura construye un sistema inscrito en un medio con el que realiza cambios de energía, matéricos y de información» (Gausa et al., 2002, p.289), por lo que la elección de intervenir en una existencia se justifica mediante la posibilidad de amplificar esos intercambios. En un contexto histórico contemporáneo, en el que lo indeterminado cobra relevancia, Guallart afirma que «si los objetos piensan, reaccionan y actúan más allá de sus cualidades materiales, los espacios y lugares deben reaccionar con ellos» (Gausa et al., 2002, p.337). Se ha elegido, como lineamiento proyectual, una intervención de ensanche del espacio de intercambio con el exterior de una de las unidades del Edificio Positano, ubicado en la intersección de la avenida Luis P. Ponce y la calle Charrúa, en la ciudad de Montevideo.

El edificio, uno de los íconos del movimiento moderno nacional, del arquitecto Luis García Pardo, presenta tres características interesantes para el trabajo. Primero, las unidades se proyectaron persiguiendo cierta flexibilidad programática, algo que constituyó una de las banderas del arquitecto desde 1952 (Medero, 2012), pero que no se logró por completo. Segundo, posee una fachada enteramente vidriada y orientada hacia al oeste, provocando que las unidades reciban radiación solar directa durante todas las tardes del año. En tercer lugar, dicha fachada, por su conformación plana y completamente

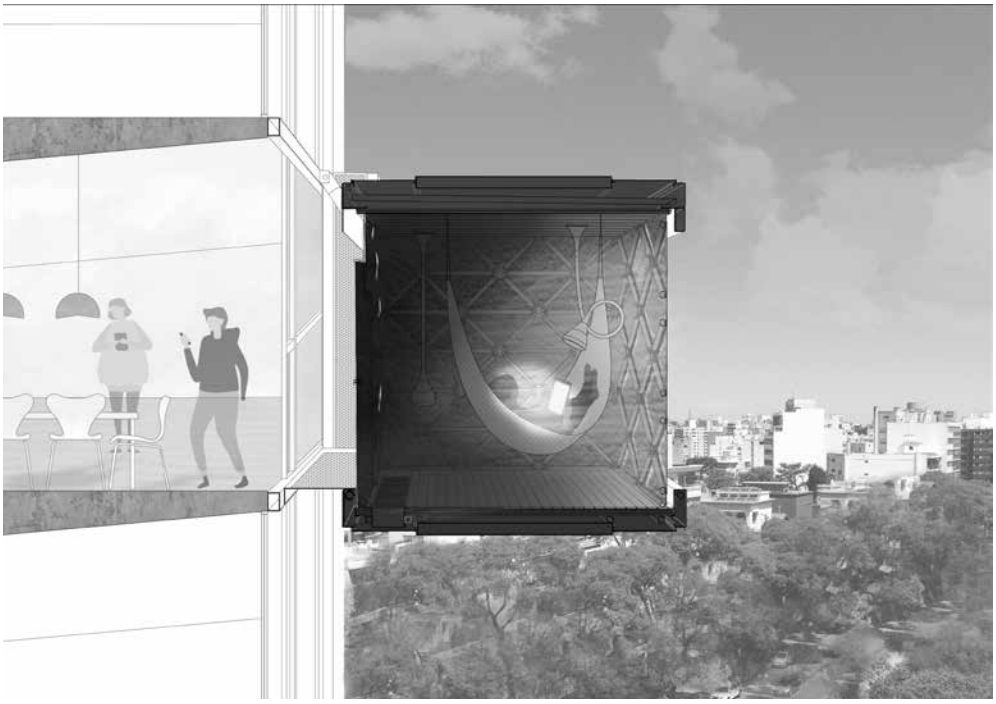


FIGURA 2. INTERVENCIÓN COMO CÁPSULA.

vertical, imposibilita un intercambio espacial enriquecedor con el entorno desde la unidad o desde el usuario.

La piel espesa propuesta no es genérica, ni una solución totalitaria, sino que responde puntualmente a una situación dada. Para la propuesta se elige una unidad particular, con condicionantes que le son propias y se toman como *inputs* a la hora de la toma de decisiones del proyecto.

El proyecto es un dispositivo, de aproximadamente 3 m de lado, que se cuelga de la fachada oeste del edificio. Se trata de un dispositivo espacial, en primer lugar, o, en todo caso, potencialmente espacial. Esto quiere decir que es potencialmente utilizable como un espacio semiexterior de la unidad. Una extensión (fig.1), una terraza, un balcón o como una cápsula de aislamiento totalmente ajena a las situaciones interiores (fig.2). De esta forma, mediante la interposición de este espacio entre el edificio y el entorno, se enriquece la posibilidad de intercambio de la piel.

Además, la intervención es convertible (fig.3). Es decir, adopta distintas posiciones, lo que le permite usos diferentes. En su posición vertical, el dispositivo se encuentra paralelo a la fachada y sirve de parasol, generando un plano opaco sobre la superficie vidriada. En esta situación, la intervención se comporta principalmente como protección. En su segunda posición, rebatido, el dispositivo permite el paso de la luz solar hacia el interior de la unidad. En su

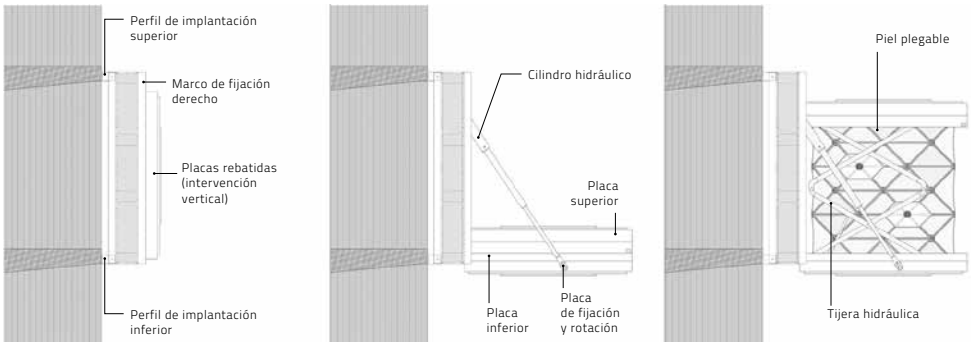


FIGURA 3. SECUENCIA DE APERTURA.

tercera posición, completamente abierto, es cuando resulta factible de usarse como un espacio y la intervención se comporta como una piel habitada, espesa y amplificada en su totalidad.

Por otra parte, el dispositivo es móvil respecto al edificio receptor. Se lo proyecta para que sea autónomo, con un anclaje que afecte lo menos posible a la integridad del soporte edilicio existente, factible de ser fácilmente desmontado. Esta capacidad es valiosa por dos motivos. El primero es el valor arquitectónico del edificio. El segundo, la importancia del concepto de reversibilidad asociado a la convertibilidad de los objetos arquitectónicos. Cuando el dispositivo piel ya no pueda ser capaz de comportarse como tal, producto de una realidad que ha cambiado, puede transformarse o desmontarse.

El objeto es, además, semihabitable. Este atributo hace referencia a que su nivel de habitabilidad depende del cumplimiento de ciertas condiciones. Bajo alguna de ellas puede comportarse como un espacio confortable, cerrado, prácticamente interior. En otras, su habitabilidad se puede ver comprometida por condiciones climáticas. Otras veces se comportará como un espacio exterior protegido. Incluso en algunos momentos la única posición que la intervención podrá tomar será la de estar cerrada, por lo que será imposible su uso como espacio. Desde una mirada tradicional del espacio arquitectónico puede resultar extraño que un lugar no sea habitable en cualquier circunstancia, mas la concepción del proyecto responde a conceptos más contemporáneos en la disciplina como son la adaptación e indeterminación.

Una última particularidad relevante es la conformación del cerramiento vertical exterior del propio dispositivo. La premisa inicial de piel como órgano de intercambio implica, en el contexto de la contemporaneidad, posibilidades de interacción y comunicación con entornos no solo físicos sino también digitales. Para Guallart, «al tradicional medio atmosférico-climático aglutinado mediante aire sobre el que se ha construido el medio físico se le superpondrá el medio digital» (Gausa et al., 2002, p.337). Es en esta línea que esa piel espesa y espacial es conformada por un cerramiento plegable, móvil y liviano capaz de recolectar información del medio, procesarla, reaccionar o actuar digital y

físicamente. Es a través de este intercambio de información que la piel espesa cobra relevancia como un espacio contemporáneo e indeterminado, un intermedio entre lo físico y lo digital.

En resumen, arquitectónicamente, la intervención es un espacio que puede conformar distintos espacios sin perder la condición de ser el órgano de intercambio del edificio. La variable que define al órgano, el espesor, está dada desde los momentos del proyecto y los usos posibles y potenciales.

Diseño desde la técnica

Desde una mirada global, todas las características que hacen único al dispositivo están dadas por un diseño integral desde la técnica, adaptando sistemas y soluciones a los requerimientos específicos del proyecto.

En este sentido, la capacidad de movimiento se logra con cilindros hidráulicos que son activados mediante una bomba de fluidos, adaptada para ubicarse dentro del propio dispositivo. La apertura se lleva adelante por un sistema de tijeras que también está equipado con cilindros hidráulicos. Además, los giros son posibles gracias a la adaptación de rulemanes provenientes de la industria automotriz y las trabas de seguridad se controlan con electroimanes de la industria aeroespacial.

La autonomía y reversibilidad del dispositivo respecto al edificio receptor se resuelven gracias a su fabricación completa en taller y posterior montaje en sitio (fig. 4). También se busca la máxima eficiencia a través de la optimización

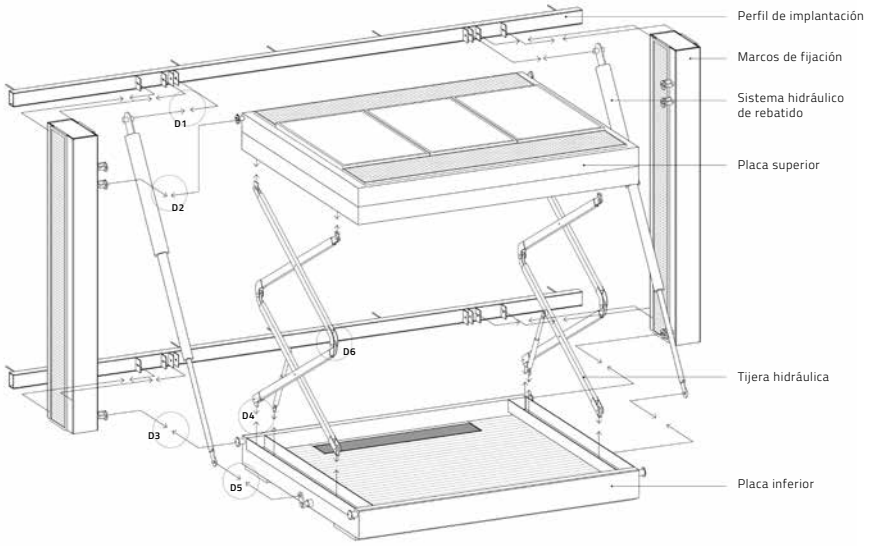
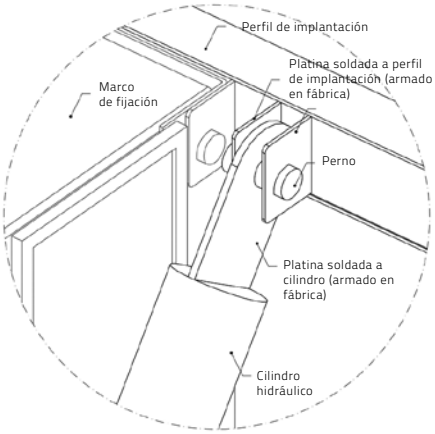
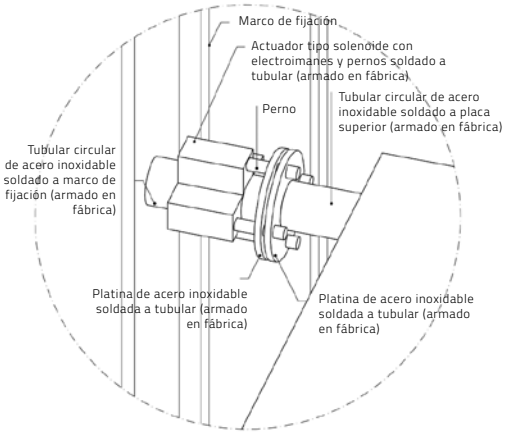


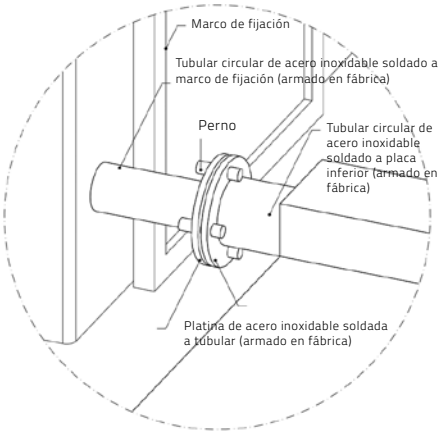
FIGURA 4. ESQUEMA DE MONTAJE.



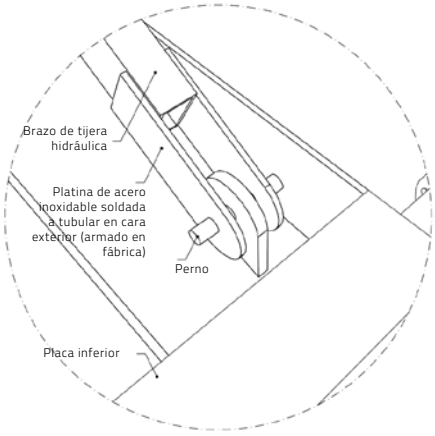
D1 MONTAJE DE CILINDROS HIDRÁULICOS



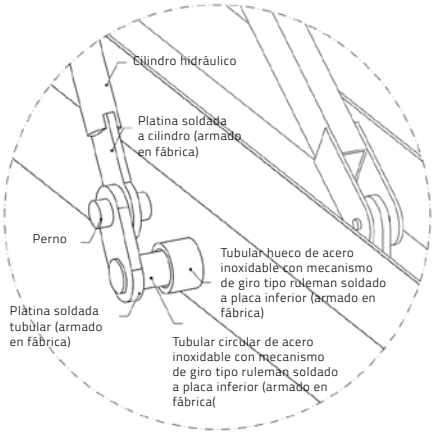
D2 TRANCA DE PALANCA SUPERIOR EN MARCO



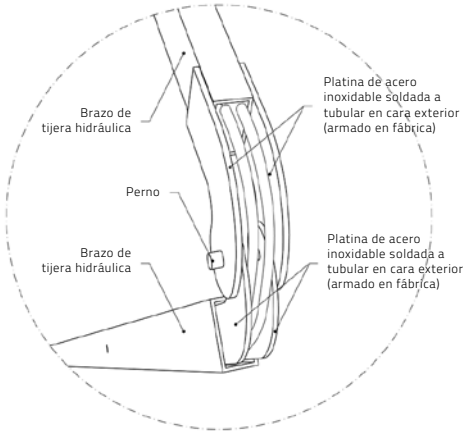
D3 FIJACIÓN Y GIRO DE LA PLACA INFERIOR



D4 MONTAJE DE TIJERA HIDRÁULICA



D5 FIJACIÓN Y GIRO DE PLACA INFERIOR Y CILINDRO



D6 MONTAJE ENTRE BRAZOS DE TIJERA HIDRÁULICA

FIGURA 5. DETALLES DE UNIONES.

de las piezas de anclaje, sujeción y movimiento para que estas sean mínimas y puntuales (fig. 5). La autonomía energética se logra mediante células y bancos de baterías para almacenamiento, evitando cualquier tipo de conexión con el edificio. El dispositivo cuenta con dos planos de celdas fotovoltaicas que pueden generar energía en cualquiera de sus tres posiciones y es almacenada en un banco de baterías adyacente. Los sistemas hidráulicos de movimiento, así como las luminarias, los tomacorrientes y las trabas de seguridad, se alimentan a través de cuatro circuitos. Asimismo, uno de los paneles es mixto, por lo que alimenta de agua caliente a un sistema de calefacción.

Indagaciones abstractas

Las investigaciones que se llevaron a cabo, durante el proceso de toma de decisiones y resolución del proyecto, partieron de la premisa de que el dispositivo fuera capaz de adquirir innovaciones que le confirieran cualidades particulares. Se buscaban aquellas que, en un nuevo paradigma de diseño que incorpora a la información como una nueva materia prima para la arquitectura, desarrollaran materiales inteligentes, activos, que reconocieran los fenómenos ambientales o funcionales que ocurren a su alrededor y reaccionaran con ellos (Guallart en Gausa et al., 2002). En este sentido, se tomó el cerramiento vertical que conforma el espacio del dispositivo como un subsistema, que se define a través de sus potenciales y las posibilidades técnicas de innovación actuales y futuras.

Se establece una ruta de investigación en sistemas de cerramientos con algunas cualidades puntuales como la flexibilidad, la posibilidad de interacción, dinamismo y capacidad de comportarse de forma responsiva. A instancias de este artículo, se hará una breve revisión de algunas pieles que fueron parte de una investigación en sistemas de cerramientos particulares y se consideran pertinentes a la hora de ejemplificar conceptos, algunos de ellos a nivel prototípico y otros como parte de obras construidas.

De carácter prototípico, móvil e interactivo, utilizando estrategias computacionales, puede citarse el ejemplo de HypoSurface,[1] un dispositivo interactivo que se comercializa como un producto dedicado a intervenciones, pabellones y muestras, entre otros destinos. Es una superficie que, mediante sus módulos, responde a estímulos que pueden ser propios, comandados, externos —música o luces— o de los usuarios y visitantes, ya que responde a la cercanía de otros cuerpos. PixelSkin02,[2] por su parte, fue desarrollado por Orangevoid, en paralelo a una investigación académica de Glasgow Caledonian University en Reino Unido, en un intento por fusionar fachadas con información y expresión mediante el uso de detección y computación. Es una superficie de sistema modular realizada con baldosas tipo píxel, que forman una red de ventanas cinéticas y actúan individualmente a través de «actuadores» con memoria de forma. El grado de control por unidad resuelve, en grandes superficies vidriadas, cuestiones como el manejo de la luz, las posibilidades de pri-

1. https://architecture.mit.edu/architecture-and-urbanism/project/hyposurface

2. http://transmaterial.net/pixelskin02/

vacidad o comunicación con el exterior a través de campos interactivos, videos o proyecciones animadas (Kottas, 2015).

Otras exploraciones interesantes buscan usar la propia naturaleza de un material para generar las condiciones de interacción, por ejemplo, con el ambiente. Tal es el caso de HygroSkin,[3] un elemento de fachada fabricado en madera que reacciona ante las condiciones ambientales sin necesidad de energía o estímulos digitales o computacionales para operar (Kreig, 2014). El proyecto utiliza la capacidad de reacción del material en sí mismo y se enmarca en las actividades de investigación del comportamiento higroscópico de la madera del Instituto de Diseño Computacional de la Facultad de Arquitectura y Planificación Urbana de la Universidad de Stuttgart, en Alemania.

Por otro lado, algunas exploraciones se basan en la «reactividad» del material a estímulos puntuales como, por ejemplo, cambios de temperatura. El proyecto Translated Geometries,[4] desarrollado en el Instituto de Arquitectura Avanzada de Cataluña, propone un sistema estructural flexible que cambia su forma, a través de cambios de temperatura, para adaptarse a las particularidades de cada situación. Es destacable que el elemento puede cambiar y volver a su forma original sin degradar el material, pudiendo deformarse o rigidizarse según las especificaciones a las que se somete. Es un sistema altamente adaptable para cerramientos que puedan ser interactivos con los usuarios o con las condiciones climáticas.

Por último, dentro de la categoría de edificios construidos con pieles de desarrollo avanzado, se pueden citar dos ejemplos. El primero, un módulo para uso en fachadas de venta comercial, Prosolve370,[5] que se muestra como un sistema capaz de absorber la contaminación del aire a su alrededor, purificándolo. Presenta un recubrimiento fotovoltaico de dióxido de titanio que se activa con la luz natural, neutralizando los óxidos de nitrógeno y los compuestos orgánicos volátiles (Kottas, 2015). Su uso en el edificio de la Torre de Especialidades del Hospital Manuel Gea Gonzales, en Ciudad de México, ha probado tratar el aire contaminado por mil automóviles a lo largo de un día. El segundo ejemplo, emblemático en el uso de tecnologías en su piel, es el edificio Media-TIC[6] de Barcelona, del estudio Cloud 9. Los proyectistas hablan de una arquitectura que responde a la era de la información, a las comunicaciones, redes e inmaterialidades (Rosa et al., 2010). El proyecto incorpora el diseño y la fabricación digital como puntos de partida para crear un edificio que reproduce tanto estética como funcionalmente los conceptos más contemporáneos en cuanto a materialidad, espacialidad y técnica. En la era de la información, el edificio recoge y procesa datos para funcionar de manera eficiente energéticamente, ahorrando costos y contribuyendo a la gestión y sustentabilidad ambiental. Un edificio que parece sumamente regido por un fuerte componente estructural y técnico se convierte en un espacio de confort ambiental y generador de atmósferas.

3. https://icd.uni-stuttgart.de/?p=9869

4. https://iaac.net/project/translated-geometries/

5. http://www.prosolve370e.com/

6. https://www.ruiz-geli.com/projects/built/media-tic

Consideraciones finales

Para un trabajo en el que las potencialidades a futuro aparecen con más fuerza que las exploraciones pasadas o presentes, no es acertado buscar conclusiones cerradas. Sin embargo, parece apropiado un breve recuento de reflexiones, preguntas o miradas a futuro. Mucho se ha hablado, y se habla, de los conceptos en arquitectura, así como de los espesores. No es algo extraño, tampoco, aplicar términos de modo metafórico. En esta línea, el espesor, en este artículo, navega entre aspectos estrictamente dimensionales y connotaciones metafóricas.

Conceptualmente, el trabajo propone, mediante la piel espesa, una idea de amplificación: la piel como el órgano de intercambio de un edificio con el entorno. Este concebido como espacio físico, pero también como virtual y digital, relevante en la era contemporánea. Esta piel espesa es espacio programáticamente abierto y también un soporte de posibilidades.

La intervención persigue el objetivo de sumar posibilidades de cambio y transformación a un edificio existente, dándole espesor al intercambio con el exterior a través del proyecto. Se reconoce como válida, en términos de sustentabilidad y resiliencia urbana, la posibilidad de agregar prestaciones a pieles o cerramientos existentes a través de innovaciones arquitectónicas, atendiendo a un uso responsable de recursos.

En la metodología se pone también en valor la mirada del diseño desde la técnica. Un diseño integral, apropiado al tiempo y al contexto, a través de la investigación de oportunidades y de la creatividad en el uso de sistemas y materiales de avanzada, permitió lograr una correcta resolución logrando una coherencia con los objetivos del proyecto arquitectónico.

Las perspectivas en los campos de investigación, acción y diseño son infinitas. Las pieles espesas no solo protegerán: serán activas, interactivas, dinámicas, flexibles, inteligentes y responsivas. Podrán ser personalizables, desmontables, estar vivas. Serán, además, las interfases entre el mundo físico y el mundo digital, los lectores, portadores y procesadores de información. Y estos son solo algunos de los parámetros que podrán formar parte de las estrategias proyectuales y resoluciones tecnológicas de las pieles del futuro. Pieles como órganos de verdadero intercambio, superando incluso las prestaciones de la piel biológica, aquella que al comienzo se planteaba como el origen conceptual. Las potencialidades son enormes y radican en la innovación en materiales, sistemas computacionales, sensoriales y de actuación, procesos de fabricación y montaje, y una lista interminable de etcéteras.

Bibliografía

Campos Baeza, A. (1996). *La idea construida.* Madrid: COAM.

Echevarría, Pilar. (2005). *Arquitectura portátil / entornos impredecibles.* España: Structure.

Gausa, M., Guallart, V., Muller, W., Soriano, F., Morales, J. y Porras, F. (2002). *Diccionario metápolis de arquitectura avanzada.* Barcelona: Actar.

Kottas, D. (2015). *Materiales: innovación y diseño.* Barcelona: Links.

Kreig, O., Christian, Z., Correa Zuluaga, D. y Menges, A. (2014). HygroSkin – *Meteorosensitive Pavilion.* Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/273060832_HygroSkin_Meteorosensitive_Pavilion

Medero, S. (2012). *Luis García Pardo.* Montevideo: IHA, FADU, UdelaR.

Montaner, J. M. (2015). *Del diagrama a las experiencias, hacia una arquitectura de la acción.* Barcelona: Gustavo Gili.

Ortega, L. (2004). *La digitalización toma el mando.* España: Gustavo Gili.

Rand, H. (2007). *Hundertwasser.* Colonia: Taschen.

Rosa, R. (2010). *Media TIC.* Barcelona: Actar.

Salazar, J. (2004). *Verb Matters.* Francia: Actar.

Schumacher, M. (2010). *Move.* Alemania: Birkhauser Verlag.

Tuja, J. P. (2014). *El proceso de proyecto del edificio Positano y el proceso de interpretación.* Montevideo: UdelaR.

Watson, D. (1997). Architecture, technology and environment. *Journal of Architectural Education*, 51 (2), pp. 119-126.

La industrialización de la construcción a mediados del siglo XX

El caso de Jean Prouvé

JUAN JOSÉ FONTANA

Arquitecto (FARQ-UdelaR) y doctor en Diseño Estructural (Universidad de Alicante). Profesor Titular de Estabilidad de las Construcciones I y Profesor Agregado de Estabilidad de las Construcciones IV (FADU-UdelaR). Asesor de estructuras en Taller Articardi (FADU-UdelaR).

Introducción

La obra de Jean Prouvé puede entenderse como una profunda reflexión sobre las consecuencias que la industrialización de la construcción, a mediados del siglo XX, podía tener sobre la vida del hombre moderno.

Prouvé creía firmemente en el poder de la tecnología para resolver los problemas de la humanidad y, por este motivo, adquirió un fuerte compromiso con la industrialización de la arquitectura. En especial, con la producción masiva de viviendas.

La industria de la construcción era la única, creía, que no estaba a la altura de la modernidad hacia las primeras décadas del siglo XX. Los aviones y los automóviles eran quienes representaban el verdadero progreso de la técnica. Sus diseños se inspiraron, por ello, en el modo en que entendía que estas máquinas eran diseñadas: la forma de cada una de sus piezas debía tener una correspondencia directa con su función.

Su obra fue increíblemente prolífica. Incluye el desarrollo de muebles, sistemas de fachadas, puertas y ventanas, núcleos de servicios, proyectos arquitectónicos completos, y otros objetos, como lámparas, rejas, bicicletas y remolques. Prouvé fue, indudablemente, un innovador en la manera de trabajar los nuevos materiales constructivos que surgieron en la época, tales como el aluminio extruido y la chapa de acero.

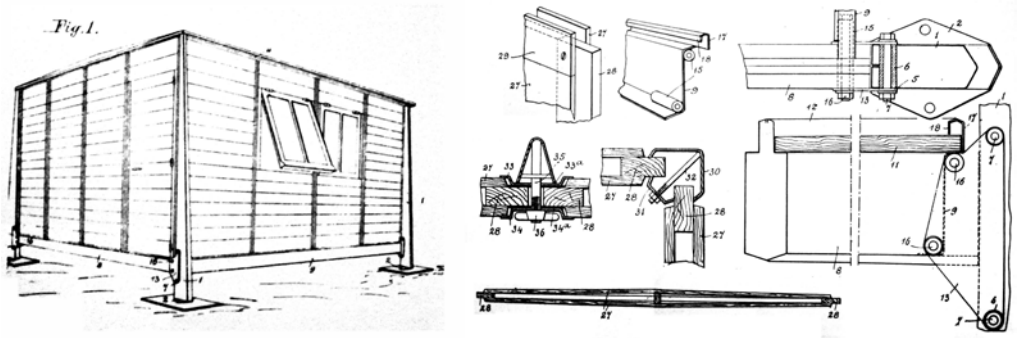


FIGURA 1. BARRACA DESMONTABLE. PATENTE N° 865.235 (1940). FUENTE: *PROUVE, THE INVENTOR: 32 PATENTS. RENZO PIANO: MEMORIES OF PROUVE* DE PIANO, R. Y PICCHI, F., 1998, DOMUS, 807, P.58.

Uno de sus más exitosos inventos ha sido el muro cortina. Según su razonamiento, un muro puede estar suspendido de losas o vigas si no cumple una función estructural, si no soporta la descarga de cubiertas o entrepisos, lo que lo hace factible de ser tratado como una cortina.

A lo largo de las décadas de 1940 y 1950 desarrolló numerosos proyectos de viviendas, refugios y barracas militares (fig. 1) para dar respuesta a las demandas de la sociedad europea durante la guerra y la posguerra.

Prouvé concebía a sus proyectos como efímeros: debían servir a una sola generación de ocupantes. Luego, podrían ser desmontados y sus piezas ser reutilizadas en nuevos proyectos.

Los sistemas constructivos integrales

Los sistemas constructivos prefabricados que desarrolló tenían algunas características en común, como el hecho de ser livianos, fácilmente montables y desmontables, y capaces de ser transportados en un solo viaje de camión. Para poder cumplir con estos requisitos, estableció que sus componentes no debían superar los 4 m de longitud ni los 100 kg de peso, y que el montaje debía ser posible sin el empleo de ningún tipo de ayuda técnica sofisticada. Como las obras debían ser armadas en plazos breves, el número de partes a ensamblar se reducía al mínimo y únicamente las piezas más pesadas podían requerir de dos personas para su puesta en obra.

En 1939 diseñó un prototipo de barraca militar desmontable, cuya estructura consistía en un bastidor metálico exterior que se cerraba con paneles de madera. Todo el sistema podía ser montado íntegramente en tres horas.

Unos años más tarde, inspirado en el proyecto de la Unité d´Habitation de Marsella, desarrolló dos sistemas prefabricados —uno en metal y otro en hormigón— para la construcción de células habitacionales que podían ser insertadas en una macroestructura de hormigón armado.

La escasez de viviendas tras la Segunda Guerra Mundial se convirtió en el factor desencadenante de un renovado interés de la industria de la construcción por la prefabricación. Según Prouvé, el diseño de sistemas industrializados completos formados por un conjunto de elementos coherentes, tales como los que eran desarrollados por la industria automovilística, era más efectivo que el diseño de componentes aislados.

Esta idea lo llevó a desarrollar sus Maisons à portiques. El núcleo resistente de estos proyectos consistía en un conjunto de pórticos paralelos de chapa de acero plegada con forma de «V» invertida, que aseguraban la estabilidad de la estructura frente a las cargas verticales y horizontales. Los cerramientos consistían en paneles de 1 m de ancho, revestidos con placas que ya incluían puertas y ventanas. La estandarización de las dimensiones de estos paneles los volvía intercambiables y hacía viable la construcción de edificios de distintos tamaños.

En 1949, junto a los arquitectos Paul Herbé y Jean Le Couteur, diseñó la Maison Tropicale como un prototipo de vivienda económica, de rápido montaje y fácilmente transportable desde Francia hacia las colonias africanas. Esta obra es un ejemplo paradigmático, con una sorprendente integración entre diseño estructural y acondicionamiento climático natural.

El primer prototipo construido fue un alojamiento para el director de una escuela en Niamey, Nigeria, fabricado y montado en 1949. Otros dos fueron encargados dos años más tarde como oficina y residencia del director comercial de una compañía de aluminio en Brazzaville, Congo. Estos últimos medían unos 33 ft x 46 ft y fueron equipados con paneles móviles para subdividir el espacio, así como con un baño y una cocina.

Todas las piezas se diseñaron tan planas como fue posible de manera que pudieran acomodarse eficazmente en la bodega de un avión y siguiendo la premisa de construir con el menor número posible de partes diferentes para simplificar el proceso de montaje. El material elegido para la fabricación del núcleo central aporticado en forma de «U» invertida fue la chapa de acero plegada, de gran resistencia y apta para la fabricación de piezas con cierta complejidad geométrica. El resto de los componentes metálicos eran de aluminio. La rigidez estructural se lograba por la conexión de todos los componentes, de modo que la definición de la secuencia de ensamblaje era fundamental.

Para adaptarse al clima tropical, la piel exterior, consistente en un sistema de parasoles móviles de aluminio que reflejaban la luz y aislaban a la estructura principal de los rayos solares, estaba separada de una piel interior compuesta por puertas corredizas y paneles fijos. De este modo se generaba una galería perimetral ventilada y sombreada. Una chimenea central de ventilación, por otra parte, permitía controlar la salida de aire caliente desde el interior hacia el exterior. El piso se suspendía por encima de una base de hormigón fabricado *in situ*, de modo de incrementar el aislamiento térmico y controlar el ingreso de la humedad del terreno.

Estos principios de protección, aislación y ventilación natural permitían a la vivienda alcanzar niveles óptimos de temperatura y humedad sin necesidad de recurrir al uso de equipamientos eléctricos.

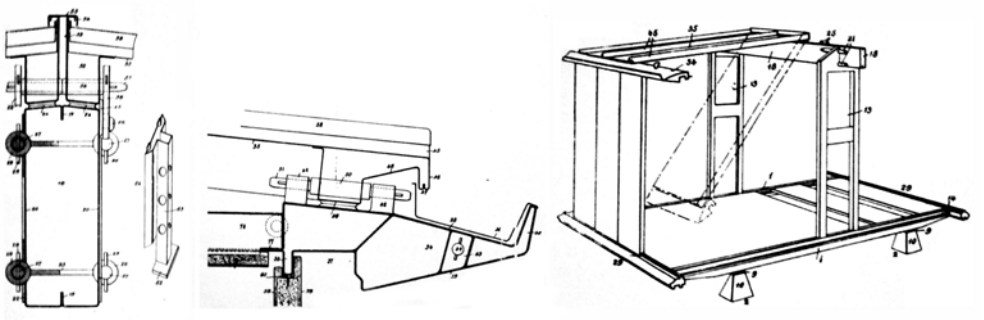


FIGURA 2. CONSTRUCCIÓN CON ESQUELETO METÁLICO DESMONTABLE. PATENTE N° 849.762 (1939). FUENTE: *PROUVE, THE INVENTOR: 32 PATENTS. RENZO PIANO: MEMORIES OF PROUVE* DE PIANO, R. Y PICCHI, F., 1998, DOMUS, 807, P.57.

La búsqueda de minimizar el consumo de la energía empleada, tanto en la producción como en el transporte, montaje y uso de la vivienda, convierte a esta obra en uno de los primeros ejemplos paradigmáticos de arquitectura sustentable. Pero el sistema no resultó exitoso y Prouvé no recibió más encargos. Medio siglo más tarde, sin embargo, dos de estos prototipos fueron adquiridos a precios millonarios, restaurados y trasladados a Europa y Estados Unidos como piezas de arte. Uno de ellos fue montado en 2007 en Long Island, Nueva York, y otro ha sido exhibido en el Centro Pompidou de París y en la Tate Modern de Londres.

Entre 1950 y 1952, Prouvé se dedicó al diseño y fabricación de catorce viviendas unifamiliares en el suburbio parisino de Meudon, por encargo del Ministerio de la Reconstrucción y Desarrollo Urbano de Francia. El objetivo de este proyecto era el desarrollo de alojamientos temporales de bajo costo, livianos y económicos.

La estructura principal de estas viviendas consistía en dos pórticos de chapa plegada de acero en forma de «U» invertida sobre los que descargaba una viga transversal, dividida en segmentos para poder ser montada por dos operarios. Una vez completa la estructura primaria, una sola persona podía concluir el resto de la vivienda.

Los muros exteriores se conformaban a partir del ensamble de nueve tipos de paneles modulares de chapa de aluminio con lana de vidrio en su interior, unidos mediante perfiles de acero. Estos paneles incluían puertas, ventanas perforadas, ventanas inclinadas y paños opacos que el cliente podía combinar a su gusto, personalizando su proyecto. Este marco perimetral soportaba la descarga de una cubierta liviana levemente inclinada. Una vez diseñado el sistema, cada estructura pudo ser fabricada y montada en tan solo tres días.

Este ha sido, seguramente, el experimento de prefabricación en serie más exitoso llevado a cabo por Prouvé. La mayoría de estas viviendas se mantienen aún en pie y se encuentran actualmente protegidas como monumentos históricos de la ciudad de París. Acerca de ellas, su autor (citado por Lavalou, 2005) decía:

> [l]as casas que he construido son como son por razones muy precisas y muy sencillas [...] por ejemplo las de Meudon. En esa época el taller contaba

> con determinado tipo de maquinaria que permitía doblar la chapa o hacer soldaduras eléctricas de tal manera o tal otra, pero no según cualquier procedimiento. Todo ello fue determinante para la concepción: llegamos a una estructura ligera en la que cada pieza pesaba menos de cincuenta kilos. Una estructura muy particular en la que el revestimiento participaba de la construcción. Y eso dio como resultado una casa. (p.93)

Los pórticos centrales que constituían el elemento principal de soporte de estos proyectos, en forma de «V» o de «U» invertida, eran fabricados en chapa plegada de acero con secciones variables (fig. 2). De este modo se reducía al mínimo la cantidad de material utilizado y se optimizaba la inercia. Este concepto de formas de resistencia equivalente fue desarrollado por Prouvé a partir de la observación de ciertos detalles en las formas naturales, tales como la unión de una espina al tallo de una rosa, o del dedo pulgar a la mano. Los perfiles de acero de sus estructuras eran más resistentes allí donde resultaban sometidos a mayores esfuerzos. Distintas geometrías para distintas funciones podían fabricarse con pequeños ajustes de sus máquinas de extrusión y de doblado de planchas metálicas. Refiriéndose a esta forma de ideación, Prouvé (citado por Lavalou, 2005) afirmaba:

> [t]odo cuanto he hecho personalmente se ha desprendido de un pensamiento que era instantáneamente constructivo, hasta el punto que yo sabía exactamente qué materias primas, qué maquinaria emplearía, y cómo haría el objeto a construir. Nunca parto de una visión o una forma. La forma es el resultado. (p.94)

El diseño de mobiliario

Prouvé no diferenciaba el proceso de diseño del proceso productivo. En el aspecto de un objeto, decía, debe reflejarse su proceso de creación. Nada debiera diseñarse sin saber previamente cómo será fabricado. Las cortadoras de chapa circulares de que disponía podían ajustarse con mayor precisión que las rectangulares, por este motivo, en la mayoría de sus paneles prefabricados realizaba ventanas circulares.

Estos principios fueron aplicados tanto para el diseño de edificios como para el de muebles. Así, la sólida configuración de las patas de algunas de sus mesas y sillas respondía siempre a una determinada concentración de solicitaciones, y la combinación de mesas y sillas en algunas de sus propuestas para equipamiento escolar tenía por objetivo la reducción del número total de patas utilizadas.

En la forma y materiales de los tableros, asientos, respaldos, patas o piezas de unión de los distintos elementos, puede observarse siempre una especial atención a los estados tensionales y una continua recurrencia al uso de componentes estandarizados.

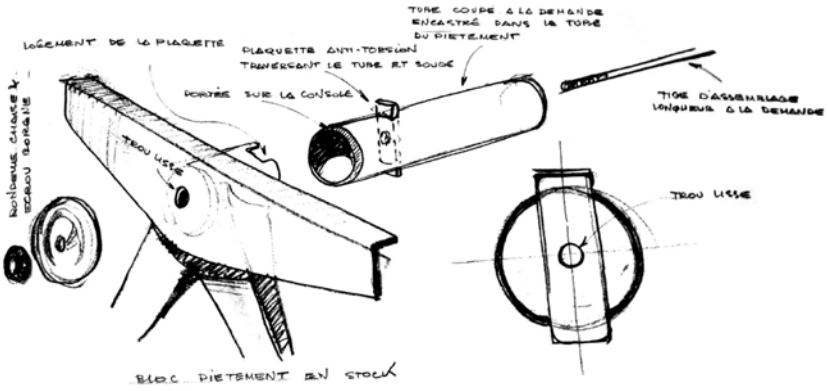


FIGURA 3. MESA COMPAS (1953). FUENTE: *JEAN PROUVÉ* DE PETERS, N., 2006, PP.60-61, COLONIA: TASCHEN.

Las patas traseras de una silla son las que reciben la mayor descarga, observó. Por este motivo, diseñó con perfiles de sección rectangular e inercia variable las patas traseras que soportan el respaldo de su Silla Estándar y con delgados perfiles tubulares las patas delanteras, sometidas exclusivamente a esfuerzos de compresión. En la unión con el asiento, donde el momento flector producido por la descarga del respaldo es mayor, las patas traseras tienen mayor sección.

Sus pupitres escolares con dos asientos descansan sobre cuatro soportes de chapa plegada de sección rectangular variable, con mayor inercia allí donde son máximos los esfuerzos de flexión. El mismo criterio de diseño puede observarse en las ménsulas que soportan el tablero de la mesa Compas (fig. 3), en las patas de la mesa Guéridon, en los soportes de los muebles de jardín que fabricó para el pabellón de la Unión de Arquitectos Modernos, en la Exposition Internationale des Arts et Techniques de París en 1937, y en los pórticos de sus Maisons à portiques.

El elaborado diseño de la silla Antony (fig. 4), de 1954, demuestra un cuidadoso estudio del comportamiento estructural de todos sus componentes constructivos.

El asiento consiste en una delgada membrana curva de madera laminada que cuelga de los extremos de dos planchuelas de acero en forma de «L», con cuatro puntos de anclaje. La forma orgánica de esta membrana, que parece adaptarse a la línea de presiones de la descarga de un cuerpo reclinado, queda suspendida tan solo algunos centímetros por encima de los delgados perfiles de acero, contrastando con su geometría regular. Dicha forma, que bien podría haber sido determinada mediante un ensayo de *form finding* con una lámina flexible, pone en evidencia un cuidadoso análisis estático de la función que el asiento cumple, resultando fundamentalmente sometido a esfuerzos de tracción.

Los perfiles de acero que soportan al asiento acaban sometidos a importantes esfuerzos de flexión; por este motivo tienen inercia variable. Se empotran

FIGURA 4. SILLA ANTONY (1954). FUENTE: *JEAN PROUVÉ* DE PETERS, N., 2006, PP.72-73, COLONIA: TASCHEN.

en su zona de mayor rigidez a un tubo cilíndrico de acero que resulta torsionado. Dicho cilindro descarga sobre cuatro delgadas patas tubulares que trabajan a compresión simple.

Cada elemento está diseñado con una forma que, además de poder ser fácilmente fabricada por las maquinarias disponibles en sus talleres en Maxéville, resulta eficaz para resistir las solicitaciones estáticas a las que está sometida. Prouvé (citado por Lavalou, 2005) manifestaba:

> [s]iempre me ha preocupado la construcción bien hecha. En mi opinión una silla tiene que ser ligera. Una silla se rompe siempre por la junta trasera, por el ángulo entre las patas y el asiento, razón por la que todos mis muebles tienen formas de resistencia equivalente. (p.26)

El legado

Como herrero en sus inicios y más adelante como empresario (Foster, 2011), Jean Prouvé desarrolló una metodología de trabajo en la que diseñar y construir eran procesos casi indistinguibles.

Su obra puede considerarse, en última instancia, como una investigación sobre la esencia de la materia. Una investigación que pretende alcanzar una comprensión profunda del potencial técnico y expresivo de los materiales, de su capacidad para producir sistemas complejos que den respuesta a los problemas de la sociedad. No parece responder a preocupaciones formales o de estilo. Su belleza se desprende de su idoneidad para cumplir con la función para la cual fue creada.

Los formalismos eran considerados por Prouvé como una negación de la propia arquitectura. Solo consideraciones de tipo técnico debían determinar la forma de una obra. La continua optimización y simplificación de los procesos de fabricación, transporte, montaje y desmontaje eran fundamentales en el desarrollo de un producto. La maquinaria disponible para el cortado y doblado de metales, el apilamiento de materiales, los sistemas de empaquetamiento, las dimensiones de los vehículos de carga y transporte, la posibilidad de montaje y desmontaje de las distintas piezas por parte de un número limitado de operarios y consideraciones estáticas, en función de los esfuerzos a resistir, eran los factores que determinaban la forma de una construcción.

Estos principios de diseño fueron adoptados de manera generalizada por la industria de la construcción en las siguientes décadas y reinterpretados a lo largo de la segunda mitad del siglo XX por numerosos técnicos, diseñadores, constructores y arquitectos, interesados en explorar el potencial de la prefabricación y la industrialización de los sistemas constructivos. La obra de muchos arquitectos e ingenieros, como Frei Otto, Renzo Piano, Richard Rogers, SOM, Norman Foster, Peter Rice, Edmund Happold, Myron Goldsmith, Cecil Balmond y tantos otros, debe a Prouvé el desarrollo de un nuevo modo de concebir y manipular los materiales explorando al límite su potencial para ser transformados en componentes constructivos, aprovechando al máximo los avances tecnológicos y convirtiendo a este conocimiento en una verdadera expresión artística de su época.

Bibliografía

Albert, M. (2010). Une nomade aux Tuileries; Architects: Jean Prouve. *L`Architecture d'Aujourd'hui*, (380), p. 205.

Banham, R. (1962). On trial. 3, Jean Prouve; the thin, bent detail. *Architectural Review*, *131* (s.n.), pp. 249-252.

Cohen, J. (1984). Jean Prouve (1901-1984): a dazzling builder. *Casabella, 48* (504), pp. 34-35.

David, B. (2001). Jean Prouve, un homme moderne. *L`Architecture d'Aujourd'hui*, (335), pp. 28-29.

Foster, N. (2011). Jean Prouvé: maestro de la forma estructural. *AV Monografías*, (149), pp. 112-119.

Klein, R. (2007). Vue(s) sur le patrimoine Exhibition of Jean Prouve's 'maisons tropicales' at the Pompidou centre in Paris. *L`Architecture d'Aujourd'hui*, (370), pp. 40-42.

Peters, N. (2006). *Jean Prouvé*. Colonia: Taschen.

Piano, R. y Picchi, F. (1998). Prouve, the inventor: 32 patents. Renzo Piano: memories of Prouve. *Domus*, (807), pp. 52-66.

Picchi, F. (2001). Jean Prouve, the anti-aesthete. *Domus*, (839), pp. 21-24.

Rice, P. (1998). Mémoires d´un ingénieur. París: Le Moniteur.

Seron-Pierre, C. (2001). Jean Prouve, 1901-1984. *Moniteur Architecture* AMC, (118), pp. 44-46.

Integración de la estructura resistente en el proyecto arquitectónico

HAROUTUN CHAMLIAN

Arquitecto (FARQ-UdelaR, 1966). Diplomado en Estudios Mayores de la Construcción (Instituto Torroja de Madrid, 1968). Profesor Titular de Estabilidad de las Construcciones II (FARQ-UdelaR) hasta 1996 y Profesor Agregado del Área de Estructura del Instituto de la Construcción (FADU-UdelaR) hasta 2019. Corresponsable, junto al ingeniero Álvaro Gutiérrez, del proyecto de investigación *Control de Calidad de Fundaciones* (CSIC, 1996-1999). Ejerció la profesión de arquitecto entre 1966 y 2010.

La calidad de la construcción depende de la calidad del proyecto arquitectónico y este, a su vez, depende de la calidad de todos los demás proyectos involucrados —estructura, instalaciones, etc.—.

El proyecto arquitectónico es el que establece las grandes definiciones de la construcción y, en particular, del partido estructural.

Es una tarea compleja encarar un análisis crítico de proyectos y aún más difícil si estos son arquitectónicos. No se trata solo de estudiar materiales, sino también, principalmente, de ideas, simbolismos y sensibilidades. En suma, es una tarea de creación.

Las sucesivas grandes etapas del proyecto arquitectónico, en cuanto a diferentes grados de elaboración del producto final, son:

- el esbozo —o croquis o esquicio—, donde se establecen los datos básicos y la idea rectora del proyecto. Debe contener aquellos elementos necesarios para definir sus características esenciales además de permitir la toma de decisiones sobre aspectos funcionales, técnicos y financieros;
- el anteproyecto, donde culmina la elaboración de la idea rectora con un nivel de detalle tal que permite la comprensión de la misma, aunque aún de manera insuficiente como para llevar a cabo la construcción de la obra;
- el proyecto, donde están completamente indicados todos los aspectos técnicos de tal modo que pueden ejecutarse las obras. Se compone de planos, detalles, planillas y memoria.

La coordinación del proyecto arquitectónico con las técnicas —estructura, instalaciones— debe estar presente en todas las etapas y debe concretarse progresivamente de acuerdo con los niveles de definición del proyecto de cada una de ellas.

En una parte del prólogo del libro *Estructuras para arquitectos* (Salvadori y Heller, 1966), Pier Luigi Nervi escribió:

> [a] los futuros arquitectos les resultará particularmente útil estudiar este libro a fondo y reflexionar sobre su contenido, pues aun cuando puedan confiar el cálculo de una estructura a un especialista, primero deben ser capaces de inventarlas y darle proporciones correctas. Solo entonces, habrá nacido una estructura sana, vital y, en lo posible, hermosa. (p.12)

En nuestra Facultad de Arquitectura, en 1952, se operó un cambio significativo de plan de estudios. En 1959, año de mi ingreso a facultad, los cursos de Estabilidad de las Construcciones eran cuatro: I, con tres horas semanales; II, III y IV, con seis horas semanales cada uno. En total eran 21 horas semanales de dictado anual, resultando aproximadamente 570 horas teóricas y prácticas.

El 30 de setiembre de 1964 ingresé al Instituto de la Construcción de Edificios [ICE] con 40 horas semanales, encargado de dibujar y elaborar, conjuntamente con los profesores Julio García Mantegazza y Felicia Gilboa, la publicación de la segunda edición de *Tablas y ábacos*, que culminó en abril de 1965.

El 31 de diciembre de 1996, debido a que discrepaba con el plan de estudios recientemente aprobado —que reducía notoriamente la carga horaria de los cursos de Estabilidad—, renuncié al grado 5 de Estabilidad de las Construcciones II y al grado 4 en el Departamento de Estabilidad del ICE, mis dos cargos en ese momento, y me jubilé.

El Consejo de Facultad, por unanimidad, resolvió solicitarme que retornara a uno o a ambos cargos. Acepté solamente reintegrarme al del Instituto de la Construcción a partir de enero de 1997, cargo que desempeñé hasta el 30 de abril de 2019.

A partir del año 1997 se «semestralizaron» los cursos, incluidos los de Estabilidad. Paulatinamente, hasta el presente y en sucesivas etapas, se fueron reduciendo los contenidos de los mismos. Actualmente se dictan dos cursos semestrales, Estructuras I y II, que suman, ambos, 210 horas teóricas y prácticas.

Cuando se construían, generalmente, edificios con vigas, pilares y losas —estas, con luces relativamente pequeñas— con mayor cantidad de acero y de baja resistencia, las deformaciones estaban «naturalmente» controladas. Paulatinamente se comenzó a construir con hormigones de mayor resistencia, luces mayores y menores inercias de las secciones. Concomitantemente, han aparecido nuevos problemas estructurales como, por ejemplo, mayores deformaciones en el hormigón armado.

En los últimos años ha aumentado la cantidad de edificios cuyas estructuras principales se diseñan con entrepisos sin vigas. Nos referiremos a estos y, más estrictamente, al problema de las deformaciones.

En este tipo estructural —sin pretensionado— se necesita mayor valor de altura de losa, pues se debe resistir igual carga total en las dos direcciones. Existen valores mínimos de la relación L/h, indicados en normas y textos, y deben aplicarse con suma cautela.

En edificios en altura no son pocas las veces que se retacea el valor de la altura de losa para disponer de un nivel más y esto ha producido, en muchos casos, deformaciones exageradas. En edificios de viviendas u hoteles, por ejemplo, se proyecta con locales de altura libre de 2,40 m y en estos casos la deformación es visible. En otros puede colocarse cielorraso y se la oculta. Existen en nuestro país muchos ejemplos de patologías por esta causa.

Con el diseño de losas pretensionadas puede resolverse el problema antes descrito, ya que se pueden proyectar con una altura un poco menor que las realizadas con hormigón armado.

Pero después de concluido el edificio hay que tomar algunas precauciones, puesto que antes de proyectar una posible reforma que implique una demolición parcial de losas se debe conocer si estas son pretensionadas o no para no afectar los posibles cables. Incluso si se conoce tal existencia debe actuarse con mucha cautela.

A las deformaciones debidas al diseño estructural se adicionan las deformaciones ocasionadas en los estados de carga transitorios originados en el proceso constructivo, que son mayores y tienen consecuencias perdurables.

Este fenómeno puede producirse en diseños de estructuras de entrepisos sin vigas de hormigón, armado o pretensionado, principalmente. Según los procedimientos habituales durante la construcción de tales estructuras, en edificios de varios niveles se distinguen dos tipos de etapas relacionadas con las cargas actuantes: el hormigonado del nivel superior y el desapuntalado del nivel inferior. En el transcurso de este procedimiento, cada vez que se desapuntala un nivel, sobre la losa actúan cargas diferentes. Según la cantidad de juegos de puntales, puede calcularse qué proporción de la carga característica —peso propio más implementos y sobrecarga de ejecución es igual a carga de obra— debe soportar cada nivel en cada uno de los pasos sucesivos —desapuntalado de cada nivel—.

Para apuntalado de tres niveles se demuestra que el mayor valor de carga en la etapa constructiva es de —2,36 x carga en etapa de obra— daN/m^2 ≈ 1200 daN/m^2.

Este valor, en muchos casos, es mayor que el valor de carga final con la que se proyectó la estructura. Para entrepisos sin vigas es del orden de 730 daN/m^2.

Como regla general, la diferencia entre la carga sobre los entrepisos durante la construcción y en la etapa final es mayor cuanto mayor es la incidencia del peso propio.

Por todo lo anterior, no se comprende que, aumentando la trascendencia del tema estructural, haya disminuido sensiblemente la cantidad de horas

de dictado de los cursos correspondientes. Temas relevantes como plateas —cimentación mayoritariamente aplicada en los conjuntos de viviendas económicas—, entrepisos sin vigas, hormigón pretensionado, deformaciones, etc., estén ausentes en los cursos de estructura.

Se presentan, a continuación, dos ejemplos representativos de la integración entre proyecto arquitectónico y estructura resistente.

Edificio Aguerrebere

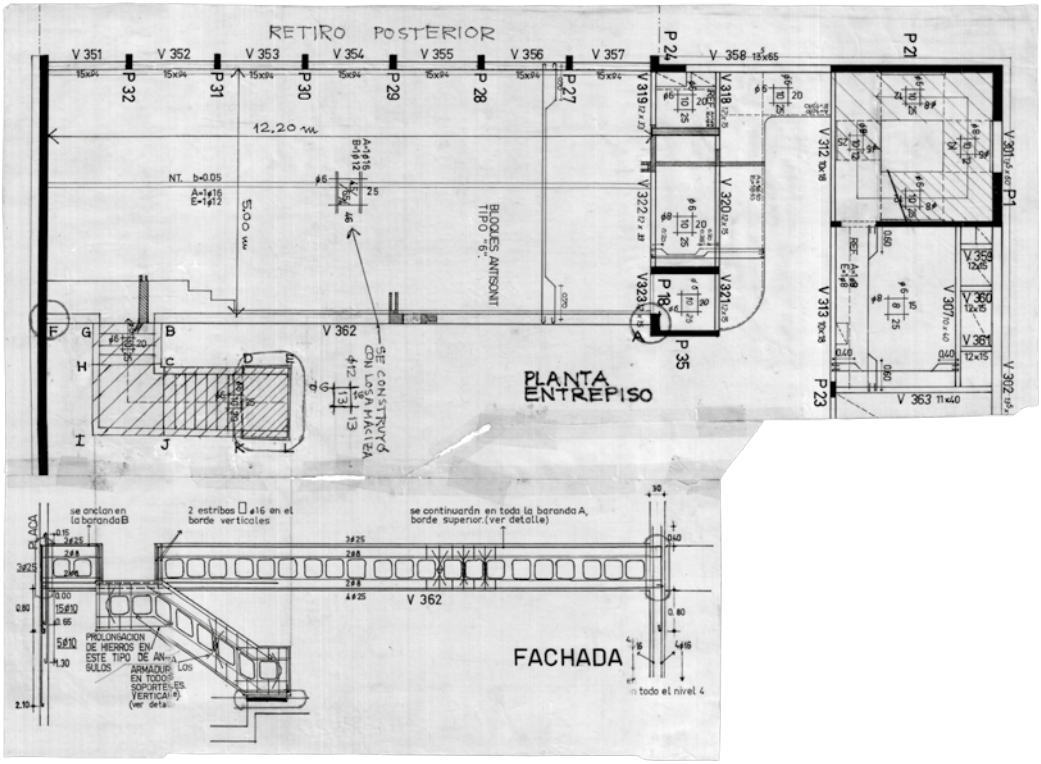
PROYECTO Y DIRECCIÓN	ARQ. HAROUTUN CHAMLIAN. BACHS. ALBERTO CANEN, WINSTON LENS, ROBERTO MARKOVITS, ENRIQUE NEIRO Y ADILIO RIVERO
CÁLCULO DE ESTRUCTURA	ARQS. FELICIA GILBOA Y HAROUTUN CHAMLIAN
EMPRESA CONSTRUCTORA	LUIS A. MARANGES S.A.
ASESOR ESTRUCTURAL DE LA EMPRESA	INGS. PEDRO HETZEL Y COLETTE BENNATI

Entrepiso en planta baja del edificio Aguerrebere ubicado en la calle Constituyente entre Dr. Javier Barrios Amorín y Andrés Martínez Trueba. Las barandas de protección del entrepiso y la escalera de acceso son vigas Vierendeel espaciales: A-B-C-(D-E) y F-G-H-I-J-(K-L) apoyadas en los dos extremos —pilar en A y pantalla en F— y en sector de losa reforzada en el acceso a la escalera (DE-KL). El entrepiso de planta baja se construyó luego de ejecutados tres entrepisos superiores y una vez desapuntalada la planta baja —con altura de unos 5,5 m—. Este entrepiso se construyó en el año 1969.

En la etapa constructiva, cuando se disponían puntales y encofrados, la empresa constructora nos solicitó disponer contraflecha en el centro de la viga V 362 de 12,20 m de luz. No lo habíamos considerado por la «rigidez» de la estructura. A pesar de ello, realizamos un cálculo rápido considerando la baranda apoyada en F y en A. El resultado, como viga, fue una flecha de 1,4 cm, pero indicamos 1 cm. Uno de los proyectistas llevó el dato a la obra y dijo 2 cm, pero el ingeniero asesor del constructor indicó 3 cm.

Antes del desapuntalado y desencofrado se colocó en el centro de la luz, de piso a techo, un puntal con un pequeño alambre rígido horizontal, separado unos 2 cm de la cara superior de la baranda, para medir el «posible» descenso de la losa.

Después de cincuenta años el valor de la contraflecha de 3 cm todavía se conserva. Todo lo mencionado da una idea del temor existente respecto al comportamiento de la estructura. La empresa constructora me solicitó, antes de comenzar el desapuntalado, la firma de un documento que indicaba que asumía la responsabilidad total de la ejecución —que normalmente corresponde al constructor— y que dirigiera con presencia en obra todo el procedimiento. Este se realizó, al cumplirse los 28 días de hormigonado, desde la hora 9 hasta las 17. Se inició con las dos líneas de puntales centrales y cada 20 minutos se retiraban otras dos de cada lado hasta llegar a los extremos.



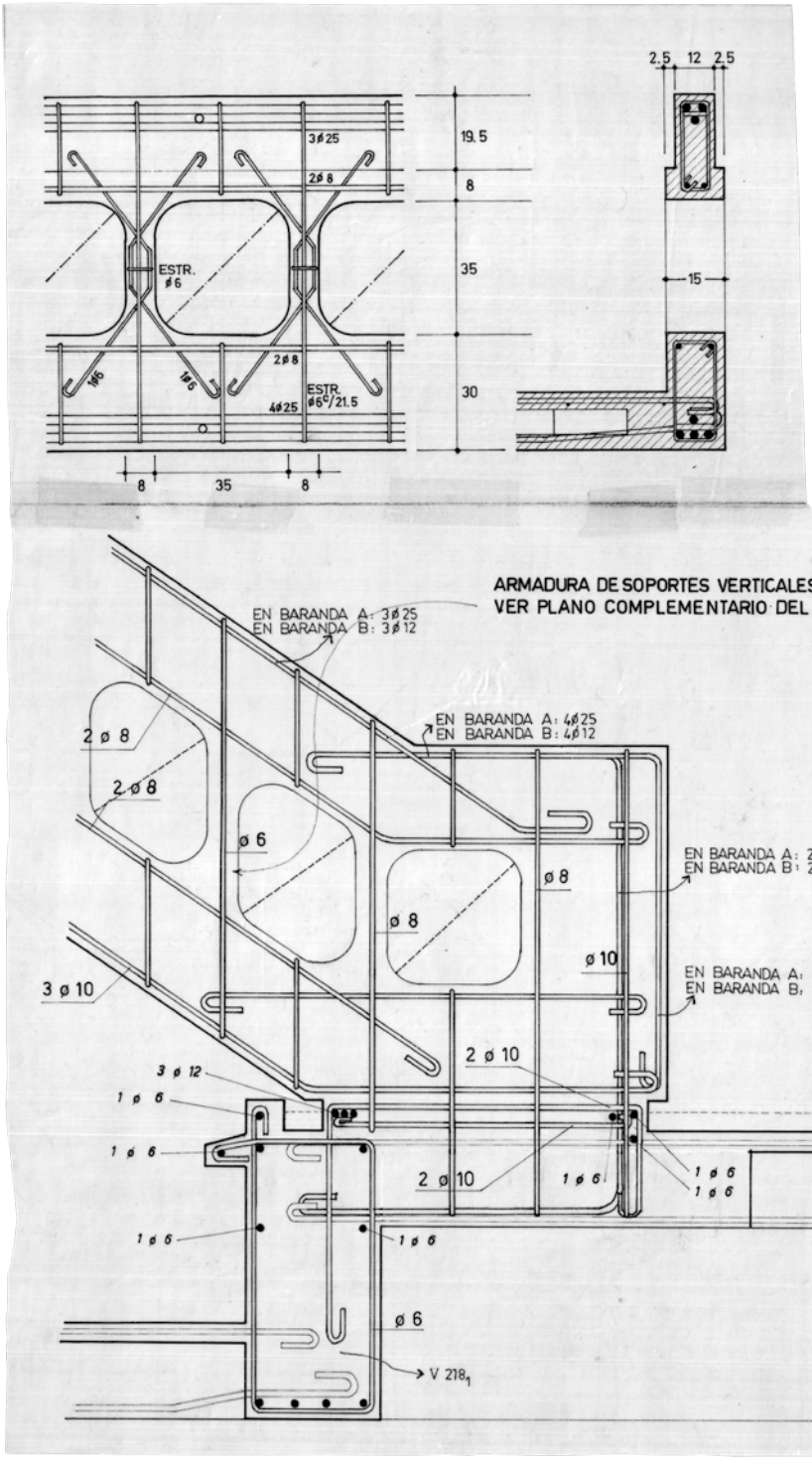
Ese temor no pasó inadvertido al propietario Enrique Aguerrebere, quien invitó a concurrir a la obra al ingeniero Eladio Dieste, comentándole todo lo anterior. El ingeniero le dijo que se trataba de un alarde estructural.

Con el correr de los años comprendí cabalmente los temores del constructor y de los reconocidos profesionales ingenieros Pedro Hetzel y Colette Bennati así como el riesgo que implicaba mi decisión de asumir totalmente la responsabilidad. También debo reconocer que en mi fuero íntimo agradecí enormemente que se respetara mi resolución, que resultó exitosa.

Este ejemplo es el primer edificio en altura que calculé, un año después de culminada mi carrera, y casualmente fue el más complejo de mi tarea profesional de más de cincuenta años.

Las obras se iniciaron a fines de 1967. Pero en el primer semestre de 1968 realicé el curso de Estudios Mayores de la Construcción —diploma— en el Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento en Madrid, España. A mi retorno, las obras de cimentación ya habían sido realizadas.

El edificio Aguerrebere consta de dos subsuelos, planta baja de dos niveles y entrepiso, un primer piso con sobrecarga de tarros de pintura de 1400 daN/m^2, siete pisos y dos *penthouses* con destino a vivienda. La luz libre de 12,20 m se mantiene en todos los niveles. La fachada es de hormigón a la vista, siendo el segundo ejemplo así construido en nuestro país.


3ø25
2ø8
ESTR. ø6
2ø8
4ø25
ESTR. ø6c/21.5
19.5
8
35
30
8
35
8
2.5
12
2.5
15
ARMADURA DE SOPORTES VERTICALES
VER PLANO COMPLEMENTARIO DEL A-29
EN BARANDA A: 3ø25
EN BARANDA B: 3ø12
EN BARANDA A: 4ø25
EN BARANDA B: 4ø12
EN BARANDA A: 2ø25
EN BARANDA B: 2ø12
EN BARANDA A: 2ø25
EN BARANDA B: 2ø12
2 ø 8
2 ø 8
ø 6
ø 8
ø 8
ø 10
3 ø 10
2 ø 10
3 ø 12
1 ø 6
1 ø 6
1 ø 6
1 ø 6
2 ø 10
1 ø 6
1 ø 6
1 ø 6
ø 6
V 218₁

Edificio UGAB

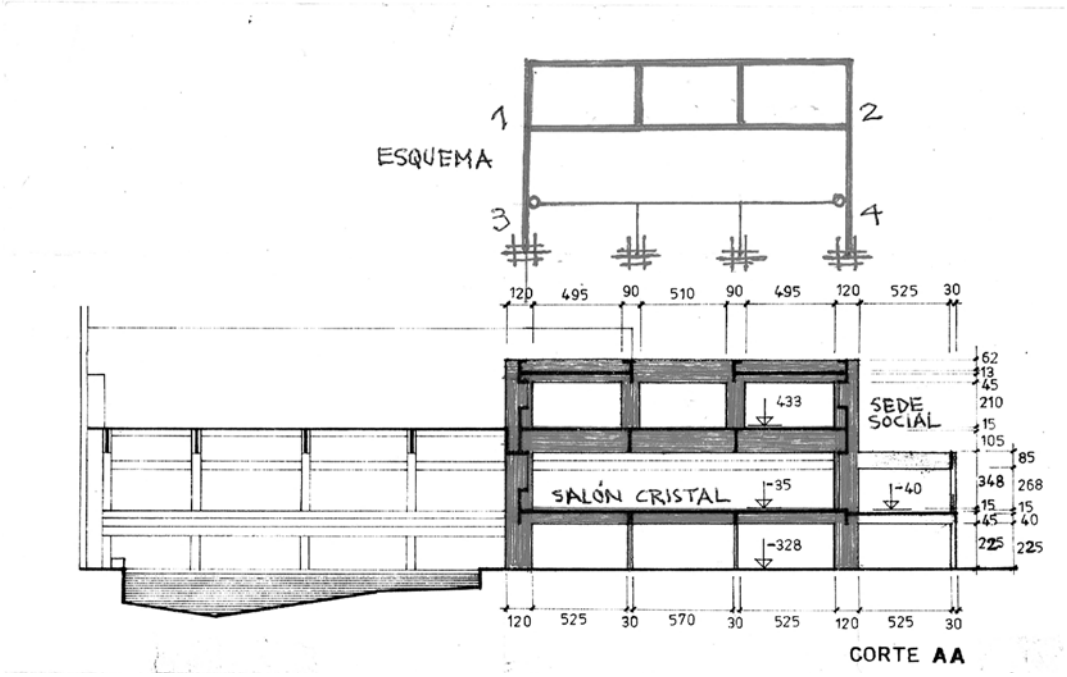
PROYECTO	ARQS. HAROUTUN CHAMLIAN, JUAN CHAMLIAN Y DIGRAN MAISIAN
EMPRESA CONSTRUCTORA DEL SECTOR QUE SE ESTUDIÓ	GORI Y MOLFINO S.A.

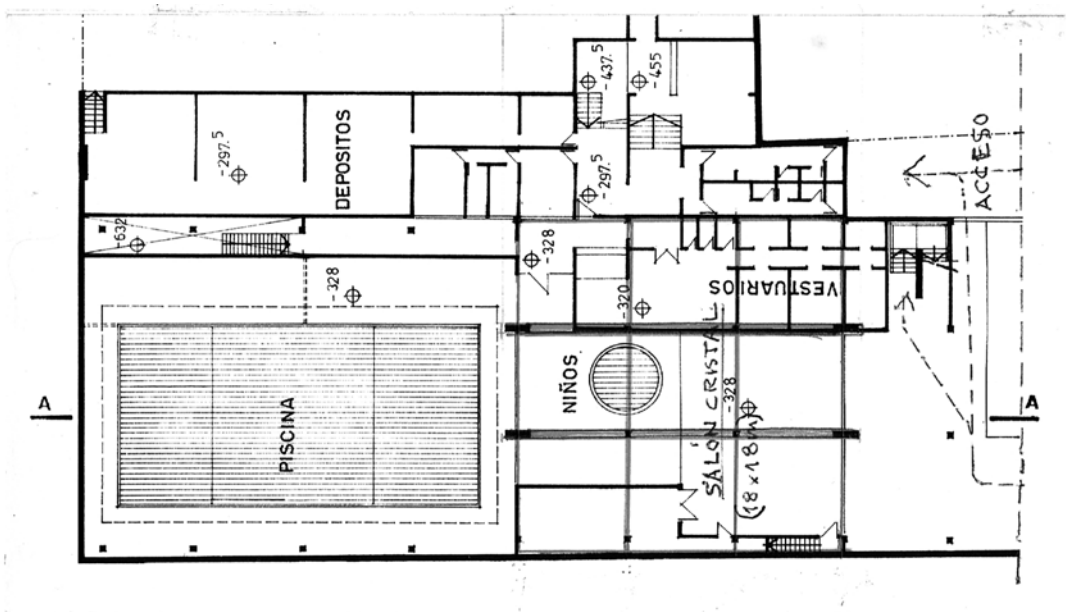
El segundo ejemplo corresponde a un sector del conjunto educativo y social de la Unión General Armenia de Beneficencia, ubicado en la avenida Agraciada esquina avenida Joaquín Suárez. La construcción de todas las obras, de unos 3500 m^2, se realizó entre 1972 y 1984. El sector parcial que trataremos corresponde a piscina, sede social y comisión directiva.

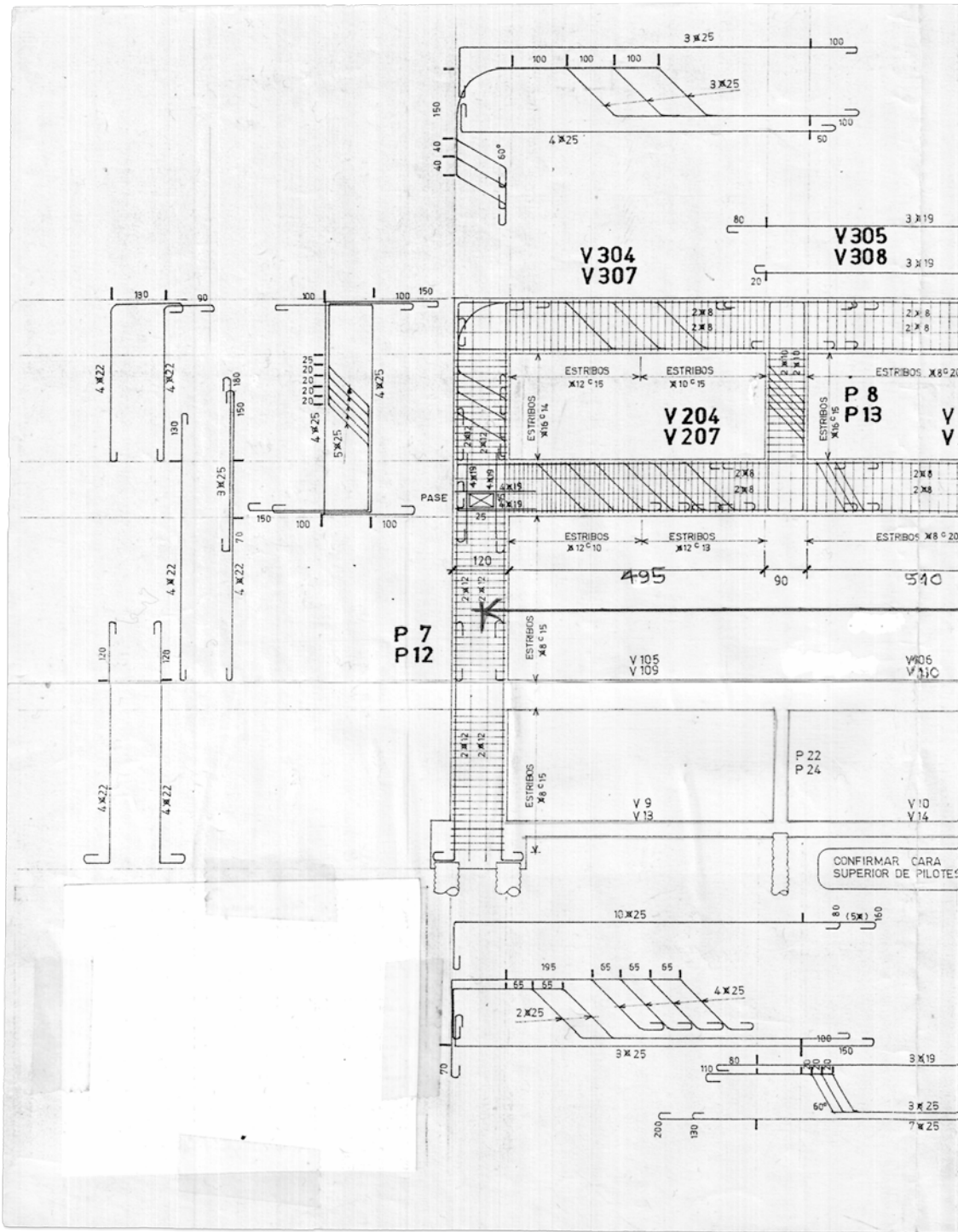
El cálculo estructural, realizado hace treinta y cinco años, fue complejo. El Salón Cristal es un local de 18 m x 18 m, con pilares ubicados solamente en su perímetro. Se plantearon dos líneas de apoyo principales —estructura Vierendeel— según se observa en las figuras. Las líneas 1-2 y 3-4 deben estudiarse con estados de carga de la sobrecarga (ver el esquema).

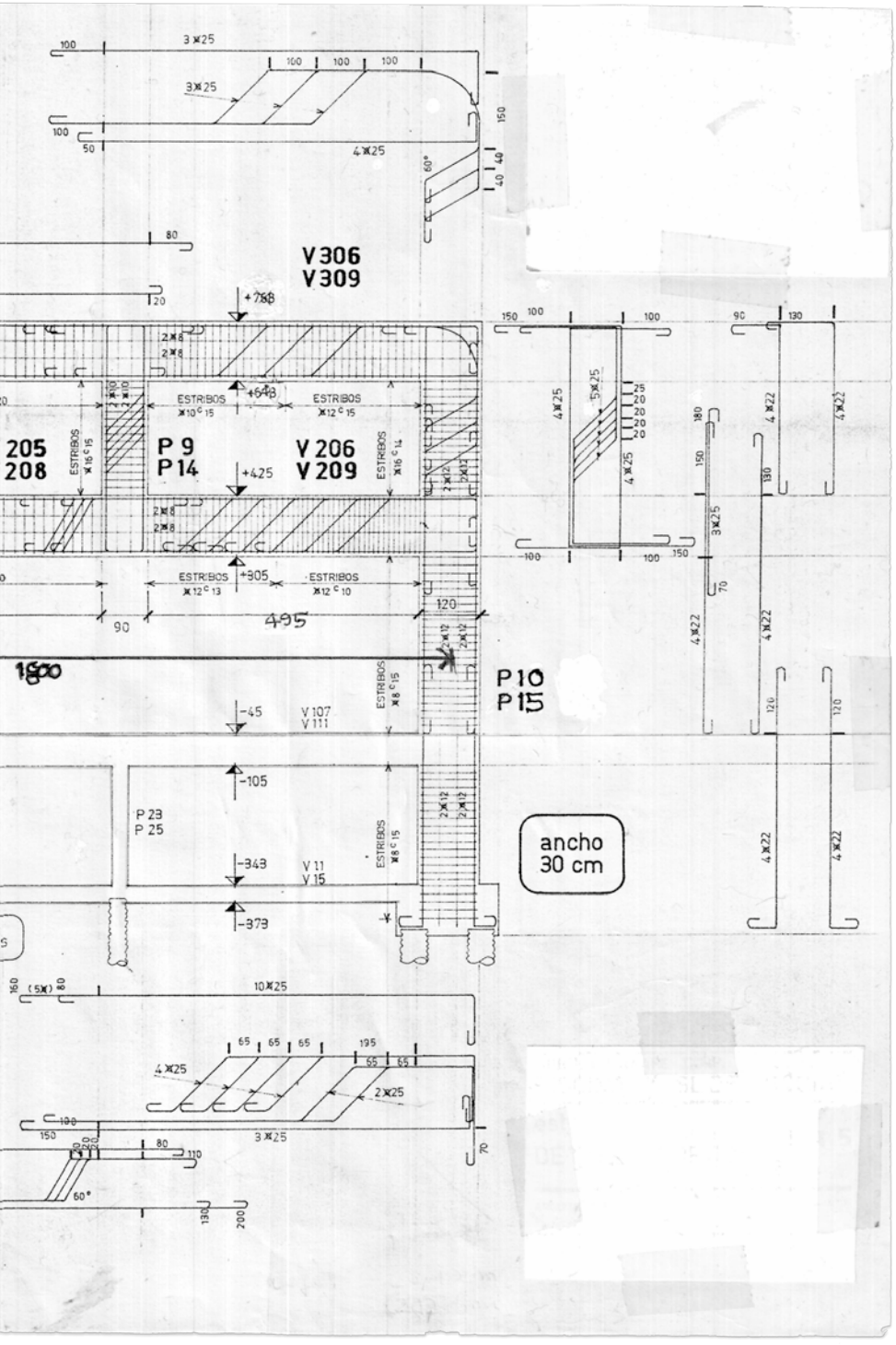
Las vigas Vierendeel en todos los niveles, tal como se indica en el esquema, no se visualizan si estamos ubicados en el Salón Cristal o en la planta alta.

El cálculo de la estructura se realizó con procedimientos manuales y con ayuda de calculadora.


ESQUEMA
1
2
3
4
120 495 90 510 90 495 120 525 30
62
13
45
210
15
105
85
268
15
40
225
433
SEDE SOCIAL
SALÓN CRISTAL
-35
-40
-328
348
120 525 30 570 30 525 120 525 30
CORTE AA


DEPOSITOS
-297.5
-437.5
-455
-297.5
632
-328
-328
-320
VESTUARIOS
ACCESO
NIÑOS
SALÓN CRISTAL
-328
(18 x 18 m)
PISCINA
A
A


V 304
V 307
V 305
V 308
V 204
V 207
P 8
P 13
P 7
P 12
P 22
P 24
V 105
V 109
V 9
V 13
V 10
V 14
ESTRIBOS
PASE
495
90
510
CONFIRMAR CARA
SUPERIOR DE PILOTES


V306
V309
205
208
P 9
P 14
V 206
V 209
ESTRIBOS
495
1800
P10
P15
V 107
V 111
P 23
P 25
V 11
V 15
ancho
30 cm

SALIDA

El estado de carga con sobrecarga variable en la línea 1-2 se realizó con el método de Cross. Para distribución de sobrecarga simétrica el procedimiento numérico es sencillo. Pero con sobrecarga de distribución variable en sus tres tramos resulta complejo, pues se trata de una estructura resuelta por la aplicación de un segundo Cross con «desplazamiento». Se produce, en el transcurso de la operativa, un sistema de cuatro ecuaciones con cuatro incógnitas, complejo de resolver con los recursos matemáticos disponibles en la década de los 80.

Como en el ejemplo del edificio Aguerrebere, también aquí debió cuidarse el procedimiento de desapuntalado y desencofrado. Se actuó comenzando por la parte central y luego simétricamente hasta los apoyos extremos. La variante en este caso es que se retiraron los puntales de dos niveles superiores de forma simultánea.

Conclusiones

Debe existir integración del proyecto arquitectónico con la estructura resistente en todas las etapas de elaboración del producto final: esbozo, anteproyecto y proyecto. Los dos ejemplos presentados, muy particulares, son representativos de la integración proyecto-estructura.

Los contenidos de los cursos de Estabilidad de las Construcciones a partir del plan de estudios iniciado en 1952 se mantuvieron hasta 1996. A partir de 1997 se operaron transformaciones en los cursos, en varias etapas, de tal manera que actualmente representan recortes significativos de los contenidos. Esto no concuerda, entre otros aspectos, con la realidad de diseños de estructura que se realizan desde 1980, aproximadamente, en los cuales el profesional arquitecto, con título único, está habilitado como director de obra.

Bibliografía

Chamlian, H. (2006). Algunas recomendaciones en el proyecto de estructuras de hormigón armado en casos frecuentes. *Algunas recomendaciones en el proyecto de estructuras de hormigón armado* [publicación especial de la Sociedad de Arquitectos del Uruguay], pp. 5-20.

Chamlian, H. (2006). Recomendaciones para la determinación de acciones y solicitaciones en dos tipos estructurales frecuentes. *Algunas recomendaciones en el proyecto de estructuras de hormigón armado* [publicación especial de la Sociedad de Arquitectos del Uruguay], pp. 21-30.

Chamlian, H. (2011). Losas nervadas compuestas por elementos prefabricados de hormigón armado y hormigón «in situ». *Vademecum del constructor 2010-2011* [publicación bienal del Mensuario del Constructor], pp. 232-234.

Chamlian, H. (2012). *Despiece de armaduras*. Montevideo: SI CEDA.

Chamlian, H. (2012). ¿Platea de cimentación o contrapiso armado?. *Construcción* [revista oficial de la Cámara de la Construcción del Uruguay], (20), pp. 80-84.

Chamlian, H. (2015). Las nuevas deformaciones de la estructura. *Construcción* [revista oficial de la Cámara de la Construcción del Uruguay], (31), pp. 80-82.

Chamlian, H. (2017). Norma UNIT 50:84 y la acción del viento en las construcciones. *Construcción* [revista oficial de la Cámara de la Construcción del Uruguay], (39), pp. 66-68.

Chamlian, H. (2018). Norma UNIT 1050:2005, Proyecto y ejecución de estructuras de hormigón en masa o armado. *Construcción* [revista oficial de la Cámara de la Construcción del Uruguay], (44), pp. 68-70.

Chamlian, H. (2019). Dos ejemplos en la práctica de la convivencia de pilotes y patines. *Construcción* [revista oficial de la Cámara de la Construcción del Uruguay], (48), pp. 100-102.

Chamlian, H. (2019). *Estructuras de Hormigón Armado – Norma UNIT 1050.* Montevideo: SI CEDA.

Chamlian, H. (2019). *Hormigón pretensionado con armadura postensada.* Montevideo: SI CEDA.

Chamlian, H. (2019). *Proyecto y Ejecución de dispositivos de cimentación.* Montevideo: SI CEDA.

Chamlian, H. y Borthagaray, J. (2007). Depósitos de agua. Paralelepípedos de uno y dos compartimentos. Montevideo: SI CEDA.

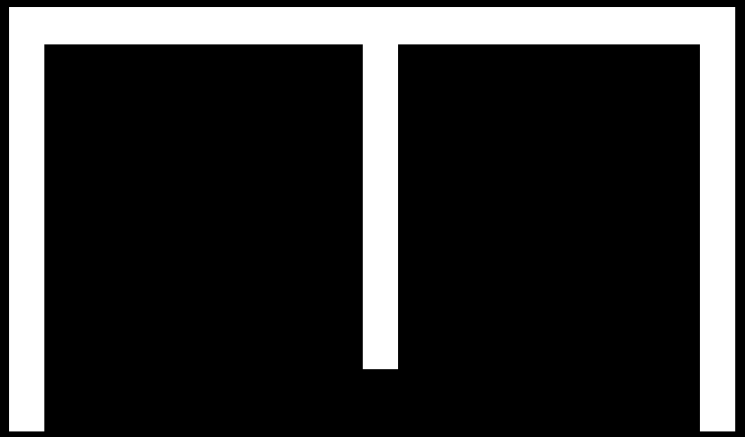
Chamlian, H. y Chamlian, D. (2010). Intervenciones en muros de mampostería existentes. *Patologías e intervenciones* [publicación especial de la Sociedad de Arquitectos del Uruguay], pp. 13-28.

Chamlian, H. y Kliche, J. (2004). Un caso interesante de errores de proyecto y ejecución en una estructura de hormigón armado. *Patologías e intervenciones* [publicación especial de la Sociedad de Arquitectos del Uruguay], pp. 1-12.

Chamlian, H. y Mussio, G. (2018). Un ejemplo de la nobleza del hormigón. Construcción [revista oficial de la Cámara de la Construcción del Uruguay], (43), pp. 63-65.

Chamlian, H., Mussio, G. y Romay, C. (2005). Plateas de cimentación. Recopilación de material bibliográfico. Montevideo: SI CEDA.

Salvadori, M. y Heller, R. (1966). *Estructuras para arquitectos.* Buenos Aires: La Isla.



experimentación

Prefabricación y diseño

GEMMA RODRÍGUEZ

Arquitecta, doctora y magíster. Profesora Titular del Instituto de la Construcción (FADU-UdelaR). Coordinadora de la Maestría en Arquitectura (área Tecnológica). Investigadora SNI (ANII) en Nivel II (2014-2022) y Nivel I (2009-2013). Ha escrito veintitrés artículos completos para revistas especializadas, tres libros, seis capítulos y setenta y siete trabajos para eventos. Posee una vasta trayectoria en el campo de la producción técnica (treinta y nueve productos de desarrollo tecnológico, procesos y otros).

En este trabajo nos referiremos, primeramente, a la prefabricación, luego a la prefabricación en la arquitectura y, finalmente, presentaremos algunos de los aportes realizados por investigaciones del Instituto de la Construcción [IC] para lograr que la prefabricación se convierta en un instrumento que permita al arquitecto sumar las ventajas de la prefabricación a las del diseño personalizado.

Si bien todos entendemos a qué remite el término «prefabricación» cuando se habla de él, decidí comenzar por la definición de dicha palabra y para ello recurrí al Diccionario de la Real Academia Española [DRAE]. Para mi sorpresa, la palabra no está en él. Sin embargo, sí ha encontrado cabida la palabra «prefabricado», donde aparece escrito lo siguiente: «adj. Dicho de una construcción: Formada por partes fabricadas previamente para su montaje posterior» (DRAE, 2018).

Por otro lado, cuando uno coloca en internet la palabra «prefabricación» aparece la expresión «acción de prefabricar», pero el término «prefabricar» tampoco pertenece al DRAE. Además de esa definición tan genérica, en internet encontramos que «[l]a prefabricación es un sistema de construcción basado en el diseño y la producción de componentes y subsistemas elaborados en serie en una fábrica fuera de su ubicación final y que se llevan a su posición definitiva para montar la edificación tras una fase de montaje simple, precisa y no laboriosa».

En dicha definición, tan extensa y compleja, es importante tener en cuenta los siguientes aspectos:

DISEÑO Y PRODUCCIÓN

La idea de que la prefabricación no es exclusivamente producción, ya que ella lleva implícita una serie de fases previas, igualmente importantes, como son la investigación, innovación, planificación, el diseño, etcétera. De allí que las principales ventajas que la prefabricación le otorga al arquitecto nacen de considerar al diseño y a la ejecución de la obra arquitectónica como un único proceso coordinado que permite abordar todas las condicionantes globalmente.

ELABORACIÓN EN SERIE

Si bien la gran mayoría de los productos prefabricados se ejecutan en serie, esto no siempre ocurre así. La prefabricación en serie aporta muchas ventajas —mayor calidad, facilidad de fabricación, menores costos, alta productividad, menor tiempo de producción, mano de obra más fácil de formar, etcétera—, pero la prefabricación de corto alcance, o incluso la de tiraje único, también puede ser rentable e interesante en nuestro país según las circunstancias, ya que permite un aumento de calidad, mejor control de producción, independencia de condiciones meteorológicas, ahorro de tiempos de ejecución con los ahorros de costos consecuentes, almacenamiento hasta el momento de la colocación definitiva, etcétera.

FÁBRICA FUERA DE LA UBICACIÓN FINAL

Este concepto origina que a la prefabricación se la considere como fabricación fuera de obra, ante lo cual cabe observar que las instalaciones en las que se realicen los componentes prefabricados pueden estar tan lejos o cerca como se quiera. Incluso a pie de obra. En este último caso, las condiciones de producción e incorporación de equipos de mayor calidad podrían ser más complicadas dado el carácter temporal del taller a pie de obra, pero esto tiene ventajas adicionales como pueden ser el ahorro en transporte, la necesidad de menor espacio de almacenamiento, la flexibilidad en función del avance de las obras, etcétera.

FASE DE MONTAJE SIMPLE, PRECISA Y NO LABORIOSA

Cuando una edificación es prefabricada las operaciones en el terreno son esencialmente de montaje, siendo una buena referencia sobre el grado de prefabricación la cantidad de residuos generados en la obra —cuanto mayor cantidad de escombros y suciedad menor es el índice de prefabricación—.

Si bien la prefabricación presenta grandes ventajas como aumento de calidad, mayor seguridad laboral, reducción de mano de obra especializada, reducción de escombros y desechos, reducción de plazos de construcción, mayor organización y planificación, entre otras (Dave, Warson y Prasad, 2017; Lawson, Ogden y Bergin, 2012; Mao, Shen, Shen y Tang, 2013; Smith y Timberlake, 2010; Velamati, 2012), parece difícil que con ella se puedan levantar los denominados «mejores

FIGURA 1. CASA HEMEROSCOPIUM. FOTOGRAFÍA: ROLAND HALBE.

edificios». Sin embargo los hay y un ejemplo reciente de ello es la casa Hemeroscopium del arquitecto Antón García Abril y el estudio Ensamble, en Madrid, de 400 m^2 (fig.1). Es una secuencia de 7 elementos estructurales que se unen entre sí de acuerdo a la naturaleza de sus esfuerzos, principalmente apoyos simples. Según el equipo del proyecto «la gravedad define los espacios, y los esfuerzos de los elementos estructurales que conforman el espacio se encuentran sometidos a un permanente equilibrio» mantenido por un bloque de granito de 20 t a modo de contrapeso. El proyecto llevó más de un año, mientras que la construcción y montaje solo 7 días debido al empleo de elementos prefabricados. La obra fue construida prácticamente con hormigón bajo un criterio de economía y durabilidad. Cada habitación está diseñada para obtener iluminación natural, abierta a un patio y a la piscina central, la cual está planteada como un elemento central en el diseño. Una segunda piscina se ubica en una viga en «U» sobre el nivel de suelo, tiene largo olímpico y es usada para practicar natación.[1] Esta casa es un ejemplo de que, para bien o para mal, la industria está transformando la manera de construir y ello también se está extendiendo a la arquitectura.

El objetivo prioritario es eliminar recursos que son generalmente malgastados: tiempo y dinero. La falta de detalles no contemplados en los planos, la elección de materiales inadecuados, la falta de mano de obra con formación adecuada y la escasa cooperación entre los diferentes profesionales y/o técnicos que

1. Al respecto, se puede obtener información en la página oficial del estudio Ensamble así como en distintos vídeos en la plataforma YouTube.

FIGURA 2. MONTAJE DE PANELES Y AVANCE DE CONSTRUCCIÓN EN VIVIENDA UNIFAMILIAR EN OCEAN PARK, URUGUAY. FOTOGRAFÍA: ANIELA SOLIÑO.

intervienen en un proyecto de arquitectura —aquitectos, calculistas, sanitarios, electricistas, carpinteros, etcétera— agravan la situación y elevan el precio del m^2 de construcción en nuestro país. Una posible solución puede ser personalizar la arquitectura con nuevos instrumentos para lograr rapidez, calidad, economía, lo que a simple vista parece imposible.

En la construcción tradicional es frecuente la falta de datos o indefinición, lo cual es fácilmente superable con la tecnología Building Information Modeling [BIM] que exige la realización de una preconstrucción exacta del proyecto, aña-

diendo tiempo y costos como dimensiones del modelado en 3D. Con ello se puede conseguir que los diferentes profesionales y oficios trabajen conjuntamente de forma rápida, realizando una planificación real, ajustada y con compromisos de cada parte. El empleo de la BIM va encaminado a cambiar para siempre la construcción tradicional, introduciendo un método de planificación inteligente con el que la industria puede conocer exactamente qué productos debe fabricar y el arquitecto en qué orden colocarlos en la obra.

Cuando el diseño se adelanta, previendo los problemas que van a aparecer durante la construcción, se pueden sumar las ventajas de la prefabricación a las del diseño personalizado. Esto da la posibilidad de generar una nueva arquitectura que se dibuja sobre el plano pero se preelabora en la fábrica, limitando el impacto ambiental, disminuyendo costos y mejorando la calidad de la construcción (Kaisera, Larssonb y Girhammar, 2019; Piroozfar, Altan y Popovic-Larsen, 2012). Para conseguir esto, es necesario, al decir de Lucio Costa (1936),

> que todos —arquitectos, ingenieros, constructores y público en general— comprendan las ventajas, posibilidades y belleza propia que la nueva técnica permite, para que entonces la industria se interese. No podemos esperar que ella tome para sí todos riesgos de la iniciativa, empeñándose en producir aquello que los únicos interesados todavía no le reclaman. (s.p.)

Un elemento nuevo que trae la prefabricación es el montaje en la obra, ya que los componentes realizados en los talleres deben transportarse hasta allí. Esto es válido para componentes no solo metálicos, de madera o resina sintética, sino también para el hormigón. Resultan ejemplares, en este sentido, los detalles correspondientes a la construcción de la vivienda unifamiliar en Ocean Park (fig. 2), Uruguay, de la arquitecta Aniela Soliño —estudiante de la Maestría en Construcción de Obras de Arquitectura—, realizada totalmente con componentes prefabricados de hormigón hechos a medida y cuyo montaje tuvo una duración de 3 semanas.

No hay que olvidar que al final de la Segunda Guerra Mundial, en la reconstrucción de muchas ciudades europeas, la prefabricación fue adoptada como principal solución a la necesidad urgente de miles de viviendas. Más recientemente, el incremento de los costos de la mano de obra calificada motivó el encargo de componentes de calidad a la industria y ello condujo a la construcción en seco, que es, por naturaleza, prefabricada. En la actualidad, tanto esta como la prefabricación en general ya son hechos consumados y no se puede volver al pasado.

En Uruguay, las mayores experiencias en la materia se basaron en sistemas de prefabricación pesada, cuyo desempeño ha sido variable. La experiencia local en variantes livianas es reciente y abarca componentes constructivos aislados cuando se trata de hormigón —losetas, antepechos, canaletas, escalones, etcétera—, pudiendo llegar a ser casi total en el caso de otros materiales como la madera. El material utilizado en nuestro país, en la mayoría de los casos, es el hormigón convencional, que determina características técnicas de los productos finales y condiciona aspectos productivos de fabricación y montaje.

En los últimos años, la optimización de la calidad de los prefabricados se ha basado en el desarrollo de nuevos materiales. La experiencia internacional en prefabricación liviana ha demostrado las ventajas de su utilización y por ello ha pasado a un segundo plano la de tipo pesada.

La versatilidad de las aplicaciones de la prefabricación liviana de alto desempeño convierte a esta tecnología en una alternativa de máximo interés para nuestro país, así como el desarrollo de nuevos materiales y componentes representa la base técnica para alcanzar los requisitos esperados en resistencia, durabilidad y estética. Estos motivos hicieron que el grupo del IC dedicado al desarrollo y aplicación de nuevos materiales y componentes para la construcción abordara la temática de la prefabricación en hormigón a los efectos de transformarla en liviana, mediante el uso de micro-hormigón de alto desempeño [MHAD] en lugar del hormigón convencional, en un proyecto financiado por la Agencia Nacional de Innovación e Investigación en el marco del Fondo María Viñas de investigación aplicada (ANII FMV 2009-1-2717).

Cabe observar que el micro-hormigón no contiene agregado grueso y para ser de alto desempeño, excediendo las prestaciones del micro-hormigón empleado habitualmente y a los efectos de poder usarse en espesores pequeños —2 o 3 cm—, requiere de una elección y un control adecuado de los materiales constitutivos así como métodos de dosificación y elaboración acordes a los materiales y equipos disponibles en nuestro medio, todo lo cual fue estudiado en el proyecto. A los efectos de viabilizar su aplicación, en el marco del proyecto se desarrolló, además, un micro-hormigón de alto desempeño autocompactante [MHAC], añadiéndole a las ventajas del MHAD las de los hormigones autocompactantes [HAC].

Al mismo tiempo, una empresa uruguaya de mediano porte estaba elaborando paneles para prefabricación liviana tipo sándwich, en poliestireno expandido y micro-hormigón convencional en las caras externas, de 2,40 m de altura, 1,20 m de ancho y alma de 10 cm de espesor. En la planta de la misma se realizaron paneles con el MHAC desarrollado en el proyecto, que luego fueron transportados al laboratorio del IC para ser ensayados junto con una serie de paneles elaborados con el micro-hormigón habitual fabricado por la empresa. Los resultados obtenidos en los ensayos relativos a la resistencia estructural de los paneles realizados con MHAC mostraron casi una duplicación de la carga máxima alcanzada y una gran disminución de la desviación estándar —76,675%— y del coeficiente de variación —88,26%— cuando se compararon con los paneles de la empresa. Se estudiaron los costos de los materiales empleados en ambas series de paneles, puesto que el proceso de ejecución y el personal eran los mismos. El m^3 del MHAD desarrollado en el marco del proyecto era un 16,28% más caro que el usado habitualmente por la empresa para realizar sus paneles sándwich prefabricados; pero comparando el costo por daN de resistencia de los paneles realizados con el MHAC se obtenía una disminución del 41,17%, mostrando las ventajas de su empleo en lugar del micro-hormigón convencional. En relación a los resultados de resistencia al impacto de cuerpo duro, cumplieron con los requerimientos de la normativa. Los paneles realizados con el MHAC de-

FIGURA 3. APLICACIÓN DE MHAC EN MOBILIARIO URBANO. FOTOGRAFÍA: LUCÍA VILLAVERDE.

sarrollado en el marco del proyecto estaban aptos, entonces, para su uso como elementos estructurales en cualquier ubicación —fachadas, interior de edificios, etcétera—, garantizando una producción de mayor calidad técnica, durabilidad y facilidad de montaje, con plazos de obra reducidos y menores costos.

Con el MHAC desarrollado, Lucía Villaverde realizó la tesis de grado de la Escuela Universitaria Centro de Diseño [EUCD] bajo la tutoría de Irene Maldini y la autora de este artículo. Villaverde se presentó a un llamado a prototipos y proyectos de fin de carrera con potencial emprendedor y obtuvo financiación para desarrollar la aplicación del MHAC en mobiliario urbano, también con la tutoría de quien escribe este artículo. El MHAC le permitió explorar el potencial estético del material, dotando de texturas, basadas en cuadros de artistas plásticos uruguayos, a los prototipos de papeleras que desarrolló en el marco del proyecto (fig. 3).

Posteriormente, en el proyecto titulado *Aplicación de nuevos hormigones para premoldeados* (ANII FMV_1_2014_1_104566) se estudió el empleo de fibras estructurales a los efectos de sustituir parcial o totalmente las armaduras en elementos prefabricados realizados con hormigón convencional y autocompactante. Como referencia se tomó un hormigón empleado en elementos prefabricados locales. En el programa experimental, las variables analizadas fueron el tipo de fibras estructurales —dos: metálicas y sintéticas— y su cuantía —tres para cada tipo de fibra—. Se estudió primeramente el material en sí, o sea, las propiedades de los hormigones desarrollados en el marco del proyecto, tanto en estado fresco como endurecido, comparándolas con las del hormigón empleado habitualmente. Los resultados obtenidos mostraron claramente las diferencias de comportamiento en estado fresco y endurecido entre los hormigones estudiados (Rodríguez de Sensale, Segura-Castillo, Rodríguez Viacava, Rolfi y Fernández, 2016 y 2018). Se hicieron paneles a escala real en una empresa de premoldeados de gran porte, con hormigón convencional y la armadura empleada habitualmente en ellos. Luego se sustituyó parte de la armadura por fibras y para

FIGURA 4. ARENA DE ZAGREB. FUENTE: DE HTTPS://WWW.ARTHITECTURAL.COM/UPI-2M-ARENA-ZAGREB. FOTOGRAFÍA: VANJA SOLIN.

ello se seleccionaron porcentajes de cada tipo de fibra apropiados a la aplicación según los resultados obtenidos en la etapa de estudio del material. Los paneles fueron transportados al IC, donde se ensayaron y compararon los resultados. En los paneles realizados quedó comprobado que es posible sustituir las armaduras superiores e inferiores por fibras, obteniéndose mejores resultados empleando fibras metálicas que sintéticas (Rodríguez de Sensale et al., 2017).

Los resultados obtenidos en este proyecto convirtieron el empleo de fibras estructurales en una alternativa de gran interés para su aplicación en nuestro país como sustitución parcial de la armadura tradicional, lo que facilita enormemente la realización de prototipos, disminuye los tiempos de ejecución, elimina problemas tanto de durabilidad como estructurales —debidos a la corrosión de las mallas de armadura que ocasiona problemas estéticos y estructurales en paneles—, etcétera.

Los proyectos mencionados anteriormente mostraron las ventajas del empleo de nuevos materiales para realizar elementos prefabricados en empresas de nuestro país de diferente envergadura, así como las posibilidades que ellos tienen tanto para prefabricación pesada como liviana.

Finalmente, cabe señalar que desde la prefabricación se puede personalizar a la arquitectura con nuevos instrumentos que permitan abrir nuevas fronteras para lograr rapidez y abaratamiento de costos. La evolución de la tecnología permite hoy asociar la precisión de la producción industrial con las características del proyecto arquitectónico, por lo que se debe tratar en Uruguay, al igual que se está haciendo en otros países, de personalizar la producción industrial. Por ejemplo, los paneles verticales para fachadas podrán ser distintos tanto en altura, anchura, como terminación superficial, pudiendo incluso haber una hibridación de los materiales empleados, lo cual no impedirá su fabricación en serie. Ello es posible con un costo razonable y se puede usar en grandes proyectos (fig. 4) así como en pequeños (fig. 5).

FIGURA 5. VIVIENDA UNIFAMILIAR TERMINADA EN OCEAN PARK, URUGUAY.
FOTOGRAFÍA: ANIELA SOLIÑO.

Bibliografía

Costa, L. (1936). Razoes da nova Arquitetura. *Revista de la Diretoria de Engenharia da Prefeitura do Distrito Federal, III* (1), s.d. Recuperado de: https://aprender.ead.unb.br/pluginfile.php/188916/mod_resource/content/3/Razoes_da_nova_arquitetura.pdf

Dave, M., Warson, B. y Prasad, D. (2017). Performance and perception in prefab housing: An exploratory industry survey on sustainability and affordability. *Procedia Engineering*, (180), pp. 676-686, doi: 10.1016/j.proeng.2017.04.227

Ensamble Studio. (2008). *Hemeroscopium House*. Disponible en: www.ensamble.info/hemeroscopiumhouse (consultado en julio de 2019).

Ensamble Studio. (2011). *Hemeroscopium House / ENSAMBLE STUDIO*. Disponible en: https://www.archdaily.com/16598/hemeroscopium-house-ensamble-studio (consultado en julio de 2019).

Ensamble Studio. (2010). *Casa Hemeroscopium / Ensamble Studio*. Disponible en: https://www.plataformaarquitectura.cl/cl/02-41486/casa-hemeroscopium-ensamble-studio (consultado en julio de 2019).

Kaisera, A., Larssonb, M. y Girhammar, U.A. (2019). From file to factory: Innovative design solutions for multi-storey timber buildings applied to project Zembla in Kalmar, Sweden. *Frontiers of Architectural Research*, *8* (1), pp. 1–16. Disponible en: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095263518300761

Mao, C., Shen, Q., Shen, L. y Tang, l. (2013). Comparative study of greenhouse gas emissions between off-site prefabrication and conventional construction methods: Two case studies of residential projects. *Energy and Buildings*, (66), pp. 165-176.

Piroozfar, P., Altan, H. y Popovic-Larsen, O. (2012). Design for sustainability: A comparative study of a customized modern method of construction versus conventional methods of construction. *Architectural Engineering and Design Management*, *8* (1), pp. 55-75.

Prefabricado. (s.f). En el Diccionario de la Real Academia Española (23ª ed.). Recuperado de: https://dle.rae.es/?id=Tyhl7pZ (consultado en julio de 2019).

Rodríguez de Sensale, G., Segura-Castillo, L., Rodríguez Viacava, I., Rolfi, R. y Fernández, M.E. (2018). Hormigón autocompactante con fibras para premoldeados. *Hormigón y Acero, 69* (284), pp. 69-75.

Rodríguez de Sensale, G., Segura-Castillo, L., Rodríguez Viacava, I., Rolfi, R. y Fernández, M.E. (2017). Nuevos hormigones para premoldeados: aplicación en prototipos. *Construcción* [revista oficial de la Cámara de la Construcción del Uruguay], (42), pp. 64-65.

Rodríguez de Sensale, G., Segura-Castillo, L., Rodríguez Viacava, I., Rolfi, R. y Fernández, M.E. (2016). Nuevos hormigones para premoldeados: el material en sí. *Construcción* [revista oficial de la Cámara de la Construcción del Uruguay], (38), pp. 82-84.

Smith, R. y Timberlake, J. (2010). *Prefab Architecture: A Guide to Modular Design and Construction.* Hoboken: John Wiley & Sons.

UPI-2M. (2009). Arena de Zagreb. Disponible en: https://www.arthitectural.com/upi-2m-arena-zagreb

Velamati, S. (2012). *Feasibility, Benefits and Challenges of Modular Construction in High Rise Development in the United States: A Developer's Perspective*. Tesis de maestría. Massachusetts Institute of Technology: Cambridge, MA, USA. Disponible en: https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/77129.

Fabricación de madera laminada encolada para uso estructural

CAROLINA PÉREZ-GOMAR
LAURA MOYA

Arquitecta (FARQ-UdelaR, 2010). Magíster en Construcción en Madera (FarCoDi-Universidad del Bío-Bío, Chile, 2017). Ha impartido clases como docente invitada en el Diploma de Especialización en Diseño, Cálculo y Construcción de Estructuras de Madera (FING-UdelaR y Facultad de Arquitectura-Universidad ORT Uruguay) y en el Diploma y la Maestría en Construcción de Obras de Arquitectura (FADU-UdelaR). Ha publicado trabajos de investigación en revistas arbitradas y presentado trabajos en congresos.

Arquitecta (FARQ-UdelaR, 1991). Magíster en Diseño y Construcción en Madera (FarCoDi-Universidad del Bío-Bío, Chile, 2001). PhD en Gestión de Recursos Naturales (Department of Bioproducts and Biosystems Engineering-University of Minnesota, 2008). Profesora Titular de Estructuras 4, investigadora y coordinadora académica del Diploma de Especialización en Diseño, Cálculo y Construcción de Estructuras de Madera (Facultad de Arquitectura-Universidad ORT Uruguay).

Resumen

En Uruguay la tecnología del laminado encolado es utilizada por fabricantes de productos de madera desde la década de los noventa, e inicialmente estaba focalizada en la producción de elementos de carpintería. La disponibilidad de maderas cultivadas en el país llevó a que las empresas fabricantes de madera laminada encolada [MLE] incursionaran en la producción de vigas y pórticos laminados sin adaptar la tecnología para producir materiales estructurales. Al no existir un cuerpo normativo nacional para madera estructural, la producción de madera laminada encolada se realiza sin ningún marco regulador que establezca requisitos de fabricación con el propósito de reglar su calidad física y estructural. El objetivo del trabajo fue establecer los requisitos de fabricación de vigas de madera laminada encolada [VMLE] de *Eucalyptus grandis* y adhesivo poliuretánico estructural en base al cuerpo normativo europeo y a la tecnología disponible en Uruguay. Para ello se involucró a una empresa productora de MLE que, siguiendo instrucciones del equipo investigador, fue optimizando su proceso productivo y fabricó las vigas estructurales analizadas en este trabajo. Varios ajustes fueron realizados en las etapas del proceso de fabricación, incluyendo la clasificación de madera, así como su saneado, endentado, encolado y prensado. El proceso productivo fue validado con ensayos destructivos de flexión y delaminación, realizados sobre láminas y vigas, siguiendo los lineamientos del cuerpo normativo europeo. Las vigas fueron

caracterizadas y asignadas a la clase resistente GL24h de la norma EN 14080 (2013). Los resultados de este trabajo fueron utilizados como insumos para la redacción de la norma UNIT 1264 que establece los requisitos de fabricación para la madera laminada encolada estructural de producción nacional.

Introducción

En Uruguay la madera de *Eucalyptus grandis* proviene de árboles de plantaciones de rápido crecimiento, que usualmente son cosechados a edades tempranas. Generalmente, entre los 15 y 18 años. La madera proveniente de estos árboles presenta altos porcentajes de leño juvenil y, en consecuencia, bajas propiedades físicas y mecánicas que inducen a su rechazo como material estructural. Asimismo, las escuadrías y longitudes de las piezas de madera obtenidas de estos árboles son de dimensiones acotadas que dependen del diámetro, largo del tronco y patrón de aserrado. La tecnología del laminado y encolado permite recuperar la madera rechazada y agregarle valor. El proceso de producción de la MLE permite generar piezas de dimensiones mayores, tanto en sección como en longitud, a las de la madera aserrada, así como fabricar elementos estructurales de grandes luces y curvos.

La calidad estructural de los productos de MLE puede ser controlada por medio de la selección de sus materiales componentes: madera y adhesivo. El proceso de laminado encolado permite el posicionamiento estratégico de láminas de diferentes grados estructurales y/o diferentes especies dentro de una misma pieza y esta característica permite predecir su comportamiento estructural.

La evolución de la cadena forestal maderera en los últimos 30 años, fomentada por la Ley Forestal nº 15939 de 1987, trajo consigo la aparición de empresas dedicadas a la fabricación de productos de MLE. Las primeras empresas, surgidas en la década de 1990, inicialmente focalizaron su producción y tecnología en elementos de carpintería y muebles. A partir de la mayor disponibilidad de madera, varias de ellas comenzaron a fabricar y comercializar vigas y pilares de MLE sin adaptar la tecnología. Amparadas por la inexistencia de un marco normativo que regule la calidad estructural de los productos laminados, estas empresas vuelcan al mercado componentes de MLE no estructurales que son consumidos por los profesionales y técnicos como si lo fueran. Es frecuente observar fallas por rotura frágil en vigas de MLE luego de tres o cuatro años de su puesta en servicio, similares a las descritas en la figura 1 (comunicaciones personales). Estas patologías asociadas al proceso de fabricación impactan negativamente en la opinión de usuarios y profesionales y desprestigian un producto que, de ser fabricado siguiendo los lineamientos para MLE estructural, posibilita infinidad de soluciones estructurales para proyectos de arquitectura e ingeniería civil.

FIGURA 1. VMLE CON FALLA POR ROTURA FRÁGIL. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

MADERA ESTRUCTURAL: MARCO NORMATIVO

En 2017 se conformó el Comité de Madera Estructural en el ámbito del Instituto Uruguayo de Normalización [UNIT]. A la fecha, se han aprobado varias normas, destacándose las de clasificación visual estructural de madera aserrada de *Pinus Elliottii / Taeda* (UNIT 1261:2018) y la de *Eucalyptus Grandis* (UNIT 1262:2018). Ambas establecen los parámetros de clasificación, la asignación a calidades visuales y la correspondencia de sus propiedades estructurales —es decir, resistencia y rigidez de flexión, y densidad— con las de las clases resistentes del sistema europeo (EN 338).

Actualmente se encuentra en proceso de aprobación la norma de requisitos de fabricación de madera laminada encolada estructural —UNIT 1264:2019— que se basó en parte de los resultados reportados por Moya et al. (2019).

Adicionalmente, en línea con la implementación de las normas UNIT, el Mvotma generó el documento *Especificaciones para madera estructural en proyectos de vivienda* (Mvotma, 2019) que prescribe las condiciones mínimas y criterios de aceptación para la madera aserrada estructural y los productos de ingeniería de madera —MLE y tableros— a utilizar en los proyectos de viviendas de interés social.

A nivel internacional, existen normas que establecen los requisitos de fabricación control de producción, etcétera, para la MLE estructural. En particular, destaca la norma europea EN 14080 (2013) que recoge desde los requisitos de fabricación, las clases resistentes, hasta la metodología de evaluación para la MLE.

MADERA LAMINADA ENCOLADA EN URUGUAY

Si bien la técnica del laminado encolado fue introducida en el país hace más de veinticinco años, la MLE que se produce en Uruguay no es apta para uso estructural, ya que no cumple con los estándares de calidad de fabricación y, por tanto, tampoco cuenta con certificación de calidad estructural (Baño y Moya, 2015). La producción y puesta en obra de componentes —generalmente, vigas y pilares— de MLE es discrecional debido a la falta de un marco normativo

para la fabricación y la determinación de las características estructurales y a la ausencia de reglas para el diseño y cálculo con estos elementos.

El trabajo que se presenta a continuación se enmarca en un proyecto (ANII, 2013) ejecutado por el equipo de investigación LATU-FING-ORT. El objetivo fue establecer los parámetros de fabricación de MLE de *Eucalyptus grandis* en base al cuerpo normativo europeo, adaptando la tecnología disponible en Uruguay y la validación mediante ensayos de caracterización.

Metodología

La etapa inicial del proyecto consistió en visitas a las tres empresas más importantes a nivel nacional dedicadas a la fabricación y comercialización de MLE y el relevamiento de la tecnología de producción. Se constató diversidad en la tecnología empleada y, en los tres casos, la producción de MLE no estructural.

La etapa siguiente se focalizó en una de las tres empresas que, siguiendo instrucciones del equipo investigador, fue ajustando su proceso productivo de acuerdo a los requisitos normativos europeos y fabricó las VMLE estructurales analizadas en este trabajo. Vale señalar que la ausencia de un cuerpo normativo nacional para MLE estructural llevó al equipo investigador a adoptar lineamientos de la EN 14080 (2013). Adicionalmente, debido a la falta de una norma de clasificación visual de madera de *Eucalyptus grandis* uruguayo al momento de la ejecución de este trabajo, y considerando la similitud de las propiedades de esta madera y las de la madera de la misma especie producida en la Mesopotamia argentina (Piter et al., 2004), se resolvió adoptar la norma IRAM 9662-2 (2015).

Finalmente, el proceso de fabricación fue validado mediante un exhaustivo programa experimental que incluyó ensayos destructivos de flexión y delaminación realizados sobre láminas y vigas.

En síntesis, la metodología abarcó las siguientes tareas:

- visitas a fábricas y relevamiento del proceso productivo;
- supervisión y ajustes del proceso productivo de una de las fábricas;
- comprobación experimental del comportamiento estructural de la MLE.

GENERALIDADES DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DE MADERA LAMINADA ENCOLADA

Los requisitos de fabricación de la MLE se encuentran detallados en normas internacionales cuya consecución garantiza la aptitud estructural de los productos. El proceso de fabricación consta principalmente de cuatro etapas, diferenciadas por áreas de trabajo:

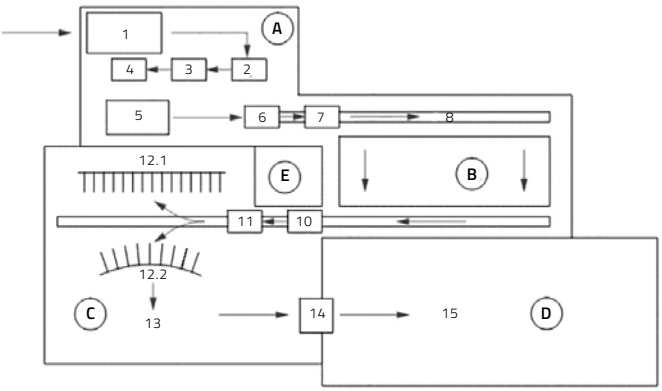
- preparación de las tablas de madera aserrada;
- fabricación de las láminas;

- fabricación de las vigas;
- terminación.

La figura 2 reproduce el *layout* típico de producción de madera laminada encolada.

Las tareas que componen las cuatro etapas se organizan espacialmente según un diagrama lineal y continuo, que permite ordenar el proceso lógico de fabricación y definir áreas de trabajo. Esta distribución admite sectorizar tareas en espacios cerrados que cuenten con condiciones controladas de temperatura y humedad relativa del aire, condiciones cruciales para las tareas de aplicación y curado del adhesivo.

El relevamiento realizado a la fábrica mostró que varias de las tareas no siguen el orden del *layout* típico del proceso productivo de MLE. Se constataron superposiciones, cruces e incompatibilidad de tareas que impiden la sectorización en espacios cerrados y con condiciones controladas de temperatura y humedad relativa del aire, tal como especifica la norma europea EN 14080.



ÁREA A. PREPARACIÓN DE TABLAS

1. Secado de tablas en horno (CH<15 %)
2. Clasificación
3. Control de CH
4. Saneado de defectos
5. Apilado de bloques

ÁREA B. FABRICACIÓN DE LÁMINAS

6. Endentado
7. Presión de endentado
8. Corte de láminas
9. Apilado de láminas, mínimo 8 h. previo a manipular

ÁREA C. ENCOLADO DE VIGAS

10. Cepillado de láminas
11. Colocación del adhesivo en una cara de las láminas
12. Prensado de la viga, mínimo por 6 h. a T=20 °C y HR=65 %
13. Apilado de vigas

ÁREA D. TERMINACIÓN

15. Cepillado de las cuatro caras de las vigas
16. Terminación de las vigas, corte a la medida, perforaciones, etc.

ÁREA E. ZONA DE ALMACENAJE Y PREPARACIÓN DE ADHESIVOS.

FIGURA 2. *LAYOUT* TÍPICO DE FABRICACIÓN DE MLE.
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA (ADAPTADO DE BLASS ET AL., 1995).

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN

LÁMINAS

De la línea de producción de la fábrica se seleccionaron al azar 600 tablas de madera aserrada de *Eucalyptus grandis* de tamaño comercial, de 75 mm x 26 mm x 3300 mm, que habían sido previamente secadas en horno hasta 12% de contenido de humedad [CH]. Las tablas fueron saneadas de acuerdo a los criterios de nudo máximo admisible y a otras singularidades o defectos, siguiendo los lineamientos de la IRAM 9662-2 (2015), para producir los bloques que conforman las láminas. La longitud máxima de los bloques quedó limitada a 70 cm, por la maquinaria empleada para el aserrado y para el fresado del *finger-joint*, mientras que la longitud mínima se fijó en 40 cm (fig. 3).

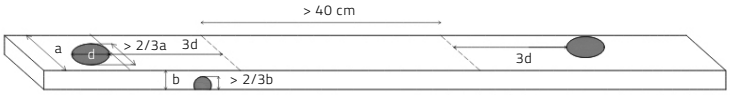


FIGURA 3. ESQUEMA DE SANEADO DE TABLAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Se tuvo especial precaución en el saneado de rajaduras y nudos cercanos al borde de la pieza para evitar, en caso de manifestarse en las proximidades de un *finger-joint*, su debilitamiento estructural. Para ello se estableció una distancia entre el borde del bloque y el nudo más cercano igual o mayor a 3 veces el diámetro del nudo (fig. 4).

Previo a la fabricación de la unión entre bloques, se verificó que éstos presentaran CH homogéneos o, a lo sumo, con diferencias iguales o menores a 5%, tal como se exige en la EN 14080. La fabricación de la unión se realizó mediante la técnica del endentado y encolado, utilizando una fresadora con perfil

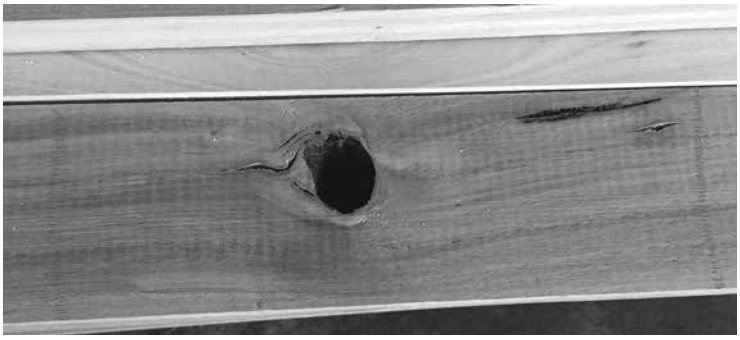


FIGURA 4. MARCADO DE CORTE. FUENTE: ELABORACIÓN: PROPIA.

pluma para endentado de cara, con diente estructural de 15 mm de longitud. El adhesivo estructural de poliuretano monocomponente [PUR] fue esparcido manualmente sobre la superficie de los dientes de las dos testas de los bloques, para luego conformar las láminas. Sobre las testas de las láminas se aplicó una presión de ensamblaje de 10 N/mm^2 durante 1 segundo, cumpliendo con los requisitos de la EN 14080. Luego de ensambladas, las láminas fueron retiradas de la prensa y manipuladas cuidadosamente para evitar su deformación y no afectar la adhesión entre bloques (fig. 5).

FIGURA 5. UNIÓN DENTADA LUEGO DEL PRENSADO.
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

VIGAS DE MADERA LAMINADA ENCOLADA

Luego de siete días de curado del adhesivo en las uniones dentadas, las láminas fueron cepilladas en sus caras y empleadas para fabricar 41 vigas con ocho láminas cada una, de sección homogénea de 73 mm x 192 mm y 4200 mm de longitud. Previo al encolado, se verificó que las superficies a encolar estuviesen limpias y libres de polvo, y se procedió a la configuración de las vigas, teniendo en cuenta que el tiempo de poro abierto en las caras de las láminas fuese inferior a 6 horas —entre cepillado de láminas y encolado de viga—.

El encolado fue realizado con aplicador de chorro mecánico, controlando que la distribución del adhesivo fuese uniforme en la cara de la lámina y respetara las cantidades recomendadas por el fabricante —300 gr/cm^2—.

Las láminas fueron apiladas manualmente en una prensa hidráulica hasta conformar cada una de las VMLE. La prensa, compuesta por un marco metálico con pistones superiores separados cada 60 cm y dispositivos de sujeción lateral, permitió aplicar una presión uniforme de 1,2 N/mm^2 sobre las VMLE durante tres horas (fig. 6).

Luego del prensado, las vigas fueron retiradas de la prensa y almacenadas en un recinto sin acondicionar durante siete días para el curado del adhesivo y posteriormente cepilladas hasta sus dimensiones finales de 73 mm x 192 mm x 4200 mm.

FIGURA 6. PRENSADO DE VMLE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

COMPROBACIÓN EXPERIMENTAL

La validación del proceso de fabricación y el desempeño estructural de láminas y vigas se realizó a partir de un programa de ensayos físicos y mecánicos de acuerdo a los lineamientos del cuerpo normativo europeo.

EVALUACIÓN DE LA UNIÓN DENTADA

ENSAYOS DE FLEXIÓN

La evaluación de los empalmes *finger-joint* se realizó sobre cuerpos de prueba de 600 mm de longitud y de sección transversal igual a la de la lámina de la cual fue extraído —73 mm x 24 mm—. Se prepararon dos muestras: una con 40 probetas, conteniendo un *finger-joint* en la mitad de su longitud, y la otra con 40 probetas de madera sólida, sin *finger-joint.* Ambas muestras fueron acondicionadas en cámara climatizada a 20 °C y 65 % de humedad relativa. Los cuerpos de prueba fueron ensayados de cara a flexión en cuatro puntos en máquina universal con una celda de carga de 50 kN, de acuerdo a EN 408 (2012).

Las resistencias características de flexión para cuerpos de prueba con unión dentada y para madera sólida fueron determinadas de acuerdo a las EN 384 (2016) y EN 14358 (2016).

EVALUACIÓN DE LAS VIGAS DE MADERA LAMINADA ENCOLADA

ENSAYOS DE FLEXIÓN

La evaluación del desempeño mecánico de las VMLE se realizó mediante ensayos de flexión en cuatro puntos en cuerpos de prueba de tamaño estructural en un pórtico con una celda de carga de 200 kN, de acuerdo a la EN 408 (2012).

La resistencia característica de flexión y el módulo de elasticidad medio se determinaron de acuerdo a la EN 384 (2016). El valor característico de la resistencia de flexión fue corregido por altura de la viga y por espesor de láminas, de acuerdo a la EN 14080. Inmediatamente después de la realización de los ensayos de flexión, de cada VMLE se extrajo, cerca de la zona de rotura, una probeta para determinar el CH y la densidad.

ENSAYOS DE INTEGRIDAD DE LA LÍNEA DE ADHESIVO

El desempeño de la línea de cola se evaluó mediante ensayos de delaminación de 40 cuerpos de prueba, de 73 mm x 192 mm x 70 mm, extraídos de las VMLE previamente ensayadas a flexión, siguiendo los lineamientos de la EN 14080 (2013).

Resultados y discusión

PARÁMETROS DE PRODUCCIÓN

Los parámetros de producción fueron ajustados adaptando la tecnología de la fábrica a los requisitos de la EN 14080, e incluyeron:

- clasificación visual y definición de longitud mínima de bloques —40 cm—;
- empleo de adhesivo poliuretánico estructural en uniones endentadas y de láminas;
- adopción de diente estructural de 15 mm de longitud;
- presión de ensamble de 10 N/mm^2 y de 1,2 N/mm^2 en láminas y vigas respectivamente;
- configuración de vigas respetando distancia mínima de uniones —12 cm— entre láminas adyacentes;
- control de cantidad de adhesivo y presión aplicada en endentados y láminas; control de tiempos de prensado y curado.

Los requisitos de temperatura y humedad relativa del aire del recinto de producción para el almacenado de madera y para las etapas de encolado no fueron cumplidos debido a los costos operativos que conllevan para la empresa.

COMPORTAMIENTO DE LA UNIÓN ENDENTADA

Analizados los resultados de los ensayos y habiendo determinado las propiedades de densidad y resistencia a la flexión de cuerpos de prueba de madera

sólida sin unión dentada y cuerpos de prueba con unión dentada (Moya et al., 2019), se desprende que los valores medios y característicos de la resistencia de flexión de las uniones dentadas resultaron inferiores a los correspondientes de la madera y son congruentes con la idea de que la unión dentada constituye un punto crítico de la lámina endentada-encolada. La configuración geométrica de las uniones dentadas posibilita la concentración de tensiones en la zona del endentado, debilitando la pieza e impidiendo alcanzar valores de resistencia similares a los de la madera sólida, aunque exista correcta adherencia entre las partes ensambladas.

DESEMPEÑO ESTRUCTURAL DE LAS VIGAS DE MADERA LAMINADA ENCOLADA

Analizados los resultados de los ensayos a flexión de las VMLE y habiendo determinado las propiedades de densidad y resistencia a la flexión y módulo de elasticidad (Moya et al., 2019), se desprende que los valores de las propiedades de flexión y de la densidad de las vigas fabricadas en este estudio pueden ser comparados con los estipulados para la MLE de sección transversal homogénea indicados en el sistema europeo de clases resistentes. De la comparación se desprende que las VMLE de *Eucalyptus grandis* y adhesivo PUR, fabricadas según los parámetros de producción definidos en el presente trabajo, permiten su asignación a la clase resistente GL 24 h de EN 14080 (2013).

Luego de finalizado el ensayo de delaminación se observó un 90% de probetas delaminadas (Moya et.al, 2019). Este comportamiento deficiente puede ser atribuido al carácter rudimentario del proceso de encolado realizado en condiciones ambientales no controladas que eventualmente afectaron la viscosidad del adhesivo y por ello el caudal de flujo expedido por el aplicador durante el encolado.

Conclusiones

Las condiciones de fabricación de madera laminada encolada presentadas en este trabajo, adaptando la tecnología disponible en Uruguay a los requisitos del cuerpo normativo europeo, permitieron obtener madera laminada encolada de *Eucalyptus grandis* y adhesivo poliuretánico con características estructurales.

Los resultados de los ensayos de flexión sobre las uniones dentadas indicaron un correcto desempeño estructural de las uniones dentadas fabricadas. El procedimiento y los parámetros involucrados en la fabricación de láminas pueden ser considerados como aceptables.

Las vigas de madera laminada encolada fabricadas según los requisitos de la EN 14080, considerando las reglas de la clasificación visual de la IRAM 9662-2, mostraron resultados experimentales de propiedades que permitieron su asignación a la clase resistente GL24h de EN 14080.

Los ensayos de delaminación de las vigas de madera laminada de *Eucalyptus grandis* y adhesivo poliuretánico mostraron un comportamiento deficiente del sistema adhesivo-adherente en el plano de encolado entre dos láminas adyacentes. A efectos de mejorar el desempeño de las vigas, se sugiere mejorar las condiciones climáticas del recinto de fabricación en las etapas de encolado y prensado de las vigas.

Los resultados de este trabajo y la metodología de fabricación adoptada sirvieron de insumos para la redacción de una norma UNIT para productos estructurales de madera laminada encolada.

Bibliografía

Aenor. UNE-EN 408+A1. (2012). *Estructuras de madera. Madera aserrada y madera laminada encolada para uso estructural. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas.* Madrid: Asociación Española de Normalización y Certificación.

Aenor. UNE-EN 14080 (2013). *Estructuras de madera. Madera laminada encolada y madera maciza encolada. Requisitos.* Madrid: Asociación Española de Normalización y Certificación.

Aenor. UNE-EN 338 (2016). *Madera estructural. Clases resistentes.* Madrid: Asociación Española de Normalización y Certificación.

Aenor. UNE-EN 384. (2016). *Madera estructural. Determinación de los valores característicos de las propiedades mecánicas y la densidad.*Ciudad: Madrid. Asociación Española de Normalización y Certificación.

Aenor. UNE-EN 14358 (2016). *Estructuras de madera. Determinación y verificación de los valores característicos.* Madrid: Asociación Española de Normalización y Certificación.

ANII. (2013). *Estudio de las propiedades estructurales de vigas de madera laminada encolada de Eucalyptus grandis producidas en Uruguay para su asignación a clases resistentes.* PR FSA_1_2013_1_12987. Montevideo: Agencia Nacional de Investigación e Innovación.

Baño, V. y Moya, L. (2015). *Pliego de condiciones técnicas para la madera estructural en la edificación en Uruguay.* Documento de investigación n° 4, Facultad de Arquitectura, Universidad ORT, Montevideo. Disponible en: https://dspace.ort.edu.uy/bitstream/item/2845/documentodeinvestigacion4.pdf

Blass, H.J., Aune, P., Choo, B.S., Görlacher, R., Griffiths, D.R., Hilson, B.O., Racher, P. y Steck, G. (1995). *Timber Engineering STEP 1. First Edition, Centrum Hout, The Netherlands, A8/1-A8/8.*

IRAM 9662-2. (2015). *Madera laminada encolada estructural. Clasificación de tablas por resistencia, Parte 2: Tablas de Eucalyptus grandis.* Buenos Aires: Instituto Argentino de Normalización y Certificación.

Moya, L., Pérez Gomar, C., Vega, A., Sánchez, A., Torino, I. y Baño, V. (2019). Relación entre parámetros de producción y propiedades estructurales de madera laminada encolada de Eucalyptusgrandis.*Maderas. Ciencia y tecnología, 21*(3), pp. 327-340. Disponible en: https://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2019005000305

Mvotma. (2019). *Especificaciones para madera estructural. Programas de vivienda.* Resolución ministerial RM 1094/2019.

Construcción en seco

En-clave de energía

MAGDALENA CAMACHO
DANIEL SOSA

Arquitecta (FARQ-UdelaR, 2008). Profesora Adjunta del Departamento de Clima y Confort en Arquitectura y docente del curso Acondicionamiento Natural. Diplomada en Viviendas Sustentables (Universidad del Bío Bío, Chile). En la actualidad cursa la Maestría en Arquitectura de FADU (UdelaR). Ha participado de proyectos de I+D (CSIC) y ANII en equipos interdisciplinares.

Arquitecto (FARQ-UdelaR, 2013). Magíster en Hábitat Sustentable y Eficiencia Energética (Universidad del Bío Bío, Chile). Asistente del Departamento de Clima y Confort en Arquitectura y docente del curso Transversal 1 - Sustentabilidad. Ha participado en equipos y proyectos de investigación, con presentación de artículos y conferencias en diversos ámbitos académicos nacionales e internacionales.

Presentación

La construcción en seco, a través de sus diversos sistemas constructivos, ha devenido en una relevante técnica de construcción en el contexto de la contemporaneidad, asociada a algunas características que le confieren particular interés como son su rapidez de montaje y ejecución. Sin embargo, a pesar de estar representada por sistemas constructivos globales de uso creciente, pocas veces se reflexiona en relación a su comportamiento en climas locales, sus posibilidades de adaptación a los mismos y sus consecuencias como interfase en la gestión y manejo de la energía para generar condiciones de habitabilidad del espacio construido.

Desde una perspectiva histórica, el despegue técnico del siglo pasado trajo consigo manifiestos expresivos de liviandad en la construcción, reflejados en el aumento del acristalamiento y la pérdida de masividad. No obstante, esto provocó alteraciones en el comportamiento energético de los edificios, para los que no existe aún una estrategia energética en sustitución a la tradicional (Araujo, 2009), además de la utilización de sistemas activos para climatización.

Este artículo presenta, *en*-clave de energía, una reseña de las principales características, propiedades, alternativas e investigaciones del Departamento de Clima y Confort en Arquitectura en relación al comportamiento energético de las construcciones livianas.

La primera parte aborda las condiciones de nuestro clima y la importancia de las estrategias bioclimáticas para el aprovechamiento de los recursos naturales. La segunda presenta los resultados de investigaciones experimentales y simulaciones computacionales realizadas para distintos climas locales y distintos tipos de construcciones. Más adelante establece consideraciones relevantes para el diseño de cerramientos livianos. Finalmente, la última sección expone una síntesis de las alternativas constructivas y los nuevos materiales que pueden contribuir a mejorar el desempeño energético de las construcciones livianas.

Clima y diseño pasivo

El clima de nuestro territorio se caracteriza por ser templado, moderado, lluvioso, con una temperatura superior a los 22,0 °C en el mes más cálido y una temperie húmeda, correspondiéndole la categoría Cfa de acuerdo a la clasificación climática de Köppen. Asimismo, la norma de zonificación climática *UNIT 1026:99* (UNIT, 1999) divide al país por isotermas en tres zonas climáticas: cálida —zona IIb—, templada cálida —zona IIIb— y templada fría —zona IVb—, de noroeste a sureste, respectivamente.
Montevideo, ciudad representativa de la zona sur, presenta una temperatura máxima media de 27,9 °C y una temperatura mínima media de 17,8 °C en enero y de 15,0 °C y 6,8 °C en julio, respectivamente. Esto se traduce en valores considerables de amplitud térmica media durante todo el año, alcanzando diferencias de 10,1 °C para enero y 8,2 °C para julio. Si bien los registros presentan algunas variaciones para otras localidades, la condición con respecto a la amplitud se reproduce en todo el territorio.

Estas características, de clima templado y amplitudes térmicas considerables durante todo el año, hacen del clima nacional un caso complejo, en el que el diseño debe dar respuesta a distintos problemas. En el período frío los principales requerimientos se asocian a la captación de energía solar y a la reducción de las pérdidas de calor. En el período caluroso se deberán reducir las ganancias de calor y aumentar las pérdidas. En relación a la amplitud térmica, por otra parte, es necesario comprender la importancia del control de flujos de calor en el tiempo a través de la amortiguación y el retardo térmico de los cerramientos.

Estos requerimientos pueden alcanzarse si se consideran distintas estrategias bioclimáticas asociadas a las condiciones del clima local. El diagrama psicrométrico para la ciudad de Montevideo (fig. 1), en el que se representan la temperatura en °C, el porcentaje de humedad relativa de las 8760 horas de año y las estrategias bioclimáticas asociadas al clima local, permite observar que, naturalmente, las condiciones de temperatura y humedad están dentro de los rangos aceptables de confort un 19,1 % de las horas del año —1673 h—. A su vez, la acción combinada de las distintas estrategias pasivas permitiría lograr condiciones de confort hasta en un 80,6 % de las horas del año —7061 h—, demostrando el enorme potencial del diseño bioclimático.

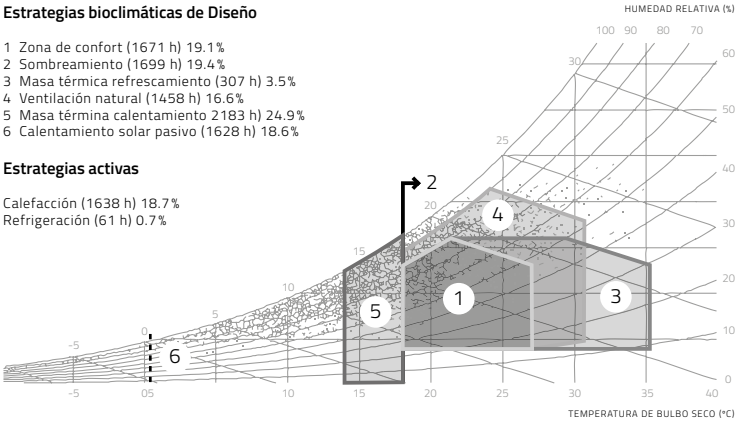


FIGURA 1. DIAGRAMA PSICROMÉTRICO Y ESTRATEGIAS BIOCLIMÁTICAS PARA MONTEVIDEO (DATOS CLIMÁTICOS DEL LABORATORIO DE ENERGÍA SOLAR, UDELAR). FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA (MODIFICADO DE CLIMATE CONSULTANT 6.0, MODELO: CALIFORNIA ENERGYCODE).

El restante 19,4 % de las horas del año —1699 h— será necesario utilizar sistemas de climatización para alcanzar las condiciones de confort, correspondiendo en un 18,7 % —1638 h— a la utilización de sistemas de calefacción y tan solo en un 0,7 % —61 h— a la utilización de sistemas de refrigeración.

En el período caluroso las estrategias más relevantes son la ventilación natural y la masa térmica aislada para refrescamiento, que deben considerarse conjuntamente. Por el contrario, en el período frío es esencial la masa térmica aislada para calentamiento junto al calentamiento solar pasivo asociado a ella. La estrategia de sombreamiento es necesaria en cualquier época del año en que la temperatura exterior del aire supere los 19 °C. Si bien la incidencia de estas estrategias puede variar levemente en las distintas localidades del país, tendrán la misma relevancia en cualquier parte del territorio nacional.

Mientras que algunas estrategias bioclimáticas quedan principalmente supeditadas a las condiciones generales de diseño del proyecto, la estrategia de masa térmica aislada para calentamiento y refrescamiento queda sujeta al diseño de los cerramientos que componen la envolvente. Esta dimensión cobra particular relevancia en el análisis de sistemas de construcción en seco, donde debe considerarse especialmente la materialidad, el tipo de capas y el orden de las mismas, para lograr maximizar las condiciones de diseño pasivo, en un clima complejo como el de Uruguay.

Estudios experimentales

El Departamento de Clima y Confort en Arquitectura ha realizado diversas investigaciones sobre el efecto de la masa térmica en la envolvente de los edificios. Particularmente, se realizaron dos proyectos que demuestran el comportamien-

to diferencial que tienen un cerramiento con masa térmica y un cerramiento liviano, conjuntamente con otras estrategias bioclimáticas.

En una primera instancia, en el proyecto de investigación *Evaluación del desempeño térmico de un sistema constructivo liviano para la situación climática de Uruguay* (Díaz-Arnesto, Picción, Camacho, López y Milicua, 2007), a partir del estudio del comportamiento térmico de un prototipo liviano, se determinó la influencia que provocan diferentes estrategias de diseño pasivo sobre la oscilación de la temperatura interior y el consumo de energía anual y estacional en las edificaciones.

En la parte A de la figura 2 se expone la comparación entre la temperatura del aire exterior y el registro de la temperatura del aire interior de un prototipo liviano para una semana del período caluroso y otra del período frío. El prototipo estaba conformado en su totalidad por paneles de acero galvanizado con núcleo de poliestireno expandido [EPS], de 10 cm de espesor, con una ventana orientada al norte. Se observa, en ambos períodos, un comportamiento similar de la

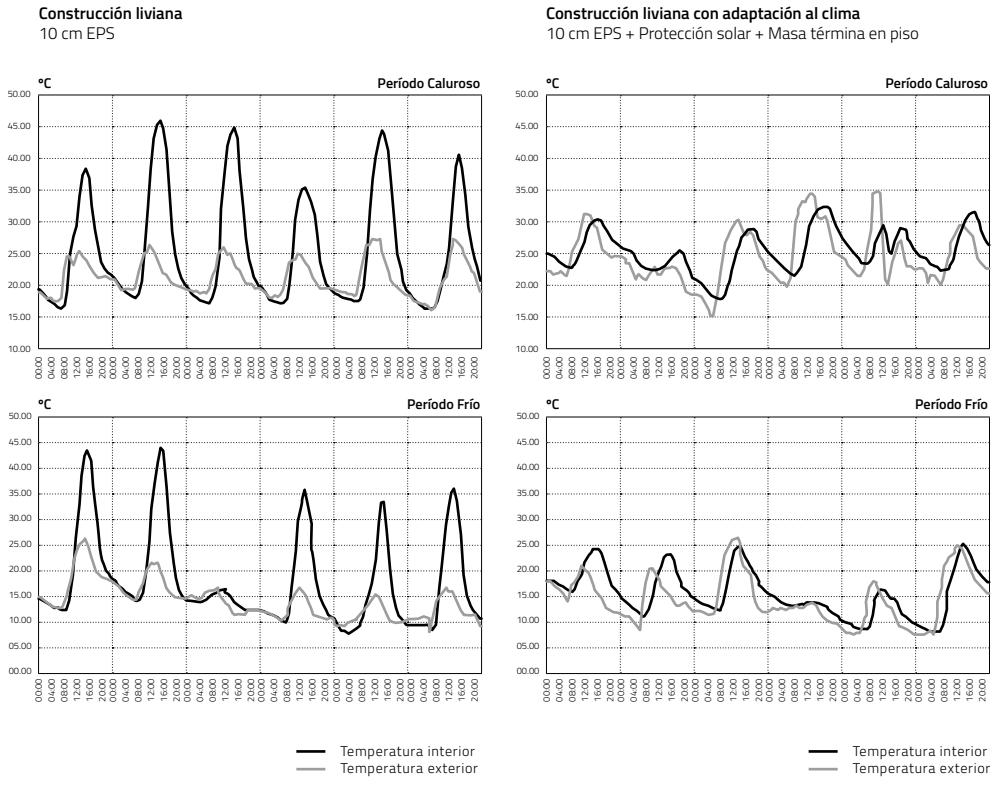


FIGURA 2. COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE CONSTRUCCIÓN LIVIANA Y CONSTRUCCIÓN LIVIANA CON MEJORAS EN EL PERÍODO FRÍO Y CALUROSO EN MONTEVIDEO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

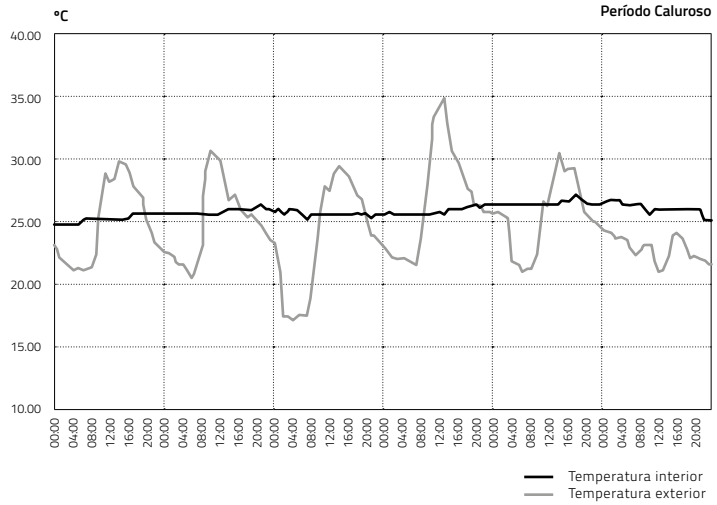


FIGURA 3. COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE CONSTRUCCIÓN TRADICIONAL EN EL PERÍODO CALUROSO EN MONTEVIDEO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

temperatura interior, despegándose de la temperatura exterior, con valores de máximas diarias sensiblemente mayores tanto en verano como en invierno. Las mínimas también tienen un comportamiento similar para los dos períodos, pero con valores parecidos a los de la temperatura exterior. Para lograr condiciones de confort térmico, la temperatura del aire interior no debería oscilar más de 1,5 °C. En ambos casos puede apreciarse que este valor es ampliamente superado. En la parte B de la figura 2 se muestran los registros de temperatura cuando al mismo prototipo liviano se le aplicaron dos medidas en correspondencia con estrategias bioclimáticas: colocación de bloques cerámicos en el piso y protección solar en la ventana. En ambos períodos se puede apreciar la mejora notable del comportamiento de la temperatura del aire interior al no evidenciar los picos que presentaba en la situación anterior, logrando temperaturas más estables dentro del prototipo. Esto sucede porque al agregar masa térmica se aumenta la capacidad térmica del conjunto, haciendo posible la acumulación de calor. Además, el hecho de contar con protecciones solares limita las ganancias de radiación solar, haciendo más fácil regular un flujo térmico moderado.

Asimismo, en el proyecto de investigación *Pautas de diseño bioclimático para optimizar condiciones de confort y uso de energía en el sector residencial financiado por organismos públicos, para Uruguay, caso de clima complejo* (Picción, Camacho, López y Milicua, 2009) se analizó el comportamiento energético de diferentes tipologías de apartamentos de viviendas realizados en construcción tradicional en dos ciudades de Uruguay. En total se recopilaron datos de 82 edificios y en todos los casos las características de la envolvente eran similares en cuanto a valores de transmitancia térmica y porcentaje de huecos. Finalmente, en los apartamentos seleccionados se registraron las condiciones

interiores de temperatura del aire y humedad relativa durante una semana en cada período del año.

En la figura 3 se observa el andamiento de la temperatura interior y exterior en un apartamento con doble orientación, en Montevideo, para una semana del período caluroso. Puede apreciarse la variación diaria de la temperatura exterior, teniendo una oscilación en la que las mínimas se producen en horas previas al amanecer y las máximas próximas al mediodía. Sin embargo, este comportamiento cíclico no es tan fácil de observar en la temperatura interior, que se presenta más estable durante todo el período de registro. Esto se debe a que la presencia de masa térmica regula los flujos de calor en el tiempo, haciendo notoria la diferencia de comportamiento térmico entre la temperatura exterior y la interior, lo que demuestra la importancia de esta estrategia para lograr un comportamiento estable de la temperatura interior del aire.
Mediante simulación computacional también se analizó, en este proyecto, el impacto del espesor del aislante térmico en cubierta con respecto al consumo de energía usada tanto en calefacción como en refrigeración, concluyendo que el consumo energético disminuye progresivamente si el espesor se incrementa hasta los 5 cm y presenta variaciones poco significativas con espesores mayores. Estos resultados relativizan la utilización excesiva de aislante térmico en construcciones tradicionales.

La importancia de la masa térmica aislada viene dada por las características de nuestro clima. Con esta estrategia, lograda a partir de un cerramiento pesado protegido del medio exterior por un aislante térmico, se obtiene una reducción del flujo de calor y de la amplitud de la temperatura del aire interior, así como el control de los flujos de calor en el tiempo. Este conjunto de efectos conforma el concepto de inercia térmica, dado por los parámetros de transmitancia térmica y capacidad térmica de cada cerramiento. En un clima como el nuestro, con una amplitud térmica considerable, no es difícil verse favorecido por los efectos de la inercia térmica si se diseña correctamente la envolvente.

En invierno, la radiación solar es acumulada en los cerramientos y cedida al ambiente unas cuantas horas más tarde en forma de calor, cuando ya no es posible contar con ganancias solares. Este hecho, sumado a la reducción de las pérdidas de calor por la presencia de aislante térmico, hace posible la acumulación y conservación de la energía al interior de los locales. En verano, en cambio, la masa térmica aislada permite acumular el calor generado en el día y cederlo durante la noche, cuando puede ser disipado mediante ventilación. Para que esta estrategia resulte efectiva es importante contar con sombreamiento en los cerramientos transparentes, a fin de que la masa no se sobrecaliente.

1. Denominados Exterior Insulation & Finish Systems [EIFS] en el mundo anglosajón.

2. Cantidad de energía requerida por una sustancia para cambiar de fase sin aumentar su temperatura.

Consideraciones acerca de la construcción en seco

Para el caso de construcciones con cerramientos cuya masa sea inferior a 120 kg/m^2, la norma *UNIT 1150:2010* (UNIT, 2010) recomienda una transmitancia tér-

mica U ≤ 0,68 W/m²K para muros y U ≤ 0,40 W/m²K para techos, como forma de compensar la ausencia de masa térmica y, por ende, la carencia de inercia térmica.

Otra de las consideraciones a tener en cuenta es que en las construcciones en seco la gran mayoría de las uniones son mecánicas, por lo que es de gran importancia controlar la hermeticidad del conjunto. En este tipo de construcciones, normalmente realizadas a partir de componentes ensamblados, existen muchos más puntos de fuga de aire —filtraciones— con respecto a los que se presentan en sistemas constructivos tradicionales (Trebilcock, 2012). A propósito de este tema, vale recordar una buena práctica de diseño, conocida como «la regla del lápiz», por la cual debería ser posible el dibujo de una línea continua sin levantar el lápiz, tanto en corte como en planta, para asegurar una envolvente hermética y sin discontinuidades. Esta continuidad de la envolvente implicará, en la construcción liviana, la utilización de barreras climáticas, pero también el uso de una serie de sellos, cintas, gomas siliconas y otros elementos para controlar las filtraciones.

En relación al desempeño higrotérmico, si bien es posible calcular el valor de transmitancia térmica y estudiar el riesgo de ocurrencia de condensaciones de un cerramiento, no es posible cuantificar el efecto que tendrán las filtraciones. Es sabido que estas pueden hacer perder la efectividad de aislación de un cerramiento además de permitir el ingreso de aire húmedo al interior del mismo, haciendo favorables las condiciones para la presencia de condensación intersticial. En este sentido, desde el punto de vista del comportamiento higrotérmico, es importante conocer los tipos de capas que conformarán el cerramiento y el orden en el que se dispondrán para controlar la migración de humedad. Siempre debe existir un control de difusión de vapor de agua y de aire húmedo del lado caliente —interior— al frío —exterior— a través de retardadores de vapor y un control de filtración de aire frío del lado frío —exterior— al caliente —interior— mediante barreras climáticas.

Nuevas alternativas

Esta sección presenta una síntesis de alternativas materiales y constructivas que pueden contribuir a mejorar el desempeño energético de los cerramientos livianos, incluyendo algunos materiales innovadores que aún están en etapas incipientes de utilización en el ámbito de la construcción a nivel mundial y permiten perfeccionar ciertas propiedades a partir de la nanotecnología.

Una de las alternativas constructivas surge simplemente de alterar el orden de las capas componentes de los cerramientos. Los Sistemas de Aislamiento Térmico Exterior [SATE][1] son sistemas multicapa con aislación en la cara exterior revestida con morteros flexibles. Esta envolvente térmica permite que las capas hacia el interior del cerramiento alcancen temperaturas superiores a las que se presentarían con el aislante en otra posición, disminuyendo el riesgo de ocurrencia de condensación. Además, su instalación continua en

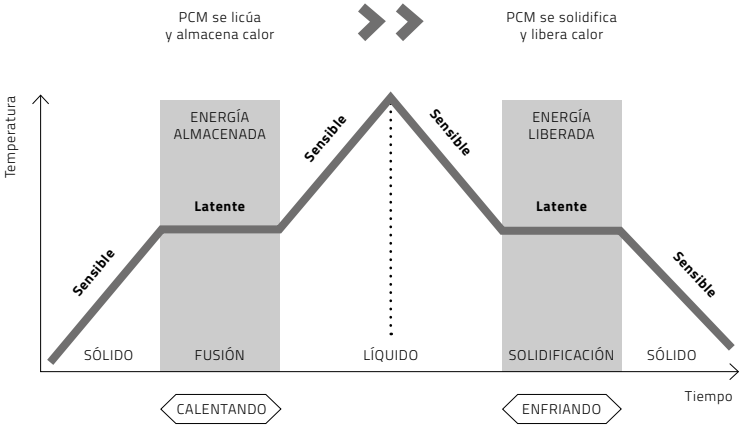


FIGURA 4. PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LOS PCM. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA (BASADA EN UNA IMAGEN CON DERECHOS DE USO Y REUTILIZACIÓN CON MODIFICACIONES).

la envolvente puede eliminar los puentes térmicos en puntos característicos. Aplicado en sistemas constructivos tradicionales, permite que la masa térmica del cerramiento quede hacia el interior, consolidando la estrategia bioclimática conocida como «masa térmica aislada», lo que constituye una alternativa con enorme potencial para implementar en el parque construido existente. Sin embargo, en sistemas livianos, conformados normalmente por elementos con poca capacidad de acumular calor, esta estrategia también puede alcanzarse si se considera la incorporación de nanomateriales.

La nanotecnología refiere a todas las formas de análisis e investigación material en magnitudes inferiores a 100 nm —1 nm es igual a una millonésima parte de un milímetro— con el objetivo de obtener componentes con nuevas funcionalidades y propiedades para el desarrollo de nuevos productos y aplicaciones (Leydecker, 2008). Dentro de esta familia se encuentran los materiales de cambio de fase, también conocidos como Phase Change Materials [PCM], que pueden regular la temperatura a partir del principio de calor latente[2] y cuyo funcionamiento puede observarse en la figura 4.

Los PCM están conformados generalmente por parafina contenida en cápsulas de polímeros, que al cambiar de estado almacenan o liberan calor durante el proceso, permitiendo aumentar la capacidad térmica del cerramiento. Esta solución es particularmente útil en sistemas constructivos livianos, característicos por su baja inercia térmica, permitiendo obtener una energía almacenada análoga a la del hormigón, pero con espesores hasta cinco veces menores. Actualmente, existen en forma de aditivos, lo que permite integrarlos a materiales de construcción como placas de yeso o morteros.

En el caso de los aislantes térmicos, la nanotecnología ha permitido desarrollar materiales innovadores con conductividades térmicas inferiores a las de los materiales convencionales, cuyo rango oscila entre 0,025 y 0,060 W/m.K, aproximadamente. Un ejemplo de ellos es el aerogel, una espuma

aireada ultraligera y traslúcida compuesta de hasta un 99,9% de aire, con una conductividad térmica de hasta 0,015 W/m.K. Aún más extremos, en lo que a propiedades térmicas se refiere, son los paneles Vacuum Insulation Panels [VIP], cuyo principio de vacío permite que alcancen una conductividad térmica extremadamente baja de hasta 0,005 W/m.K.

Aunque el universo ínfimo de estos nanomateriales ofrece un enorme espectro de posibilidades para mejorar muchas de las propiedades que conocemos, aún se encuentra bastante alejado del contexto de la construcción nacional. Sin embargo, su enorme potencial puede constituir futuras líneas de innovación e investigación que aporten, por ejemplo, a la adaptación climática de los sistemas de construcción en seco.

Previo a esta visión hipertecnológica material, es importante distinguir el diseño del proyecto como la primera estrategia de mejoramiento de las condiciones ambientales interiores. Desde la perspectiva energética, los sistemas livianos de construcción deberían ser vistos con una mirada integral, considerando la rigurosidad en el diseño del proyecto y la incorporación de masa térmica en el conjunto donde sea posible, así como la utilización de estrategias bioclimáticas integradas que permitan optimizar el desempeño energético y las condiciones de confort del ambiente construido.

Bibliografía

Araujo, R. (2009). El edificio como intercambiador de energía. *Tectónica*, (28), pp. 4-27.

Díaz-Arnesto, G., Picción, A., Camacho, M., López, M. y Milicua, S. (2007). *Evaluación del desempeño térmico de un sistema constructivo liviano para la situación climática de Uruguay.* Informe final de proyecto de investigación I+D (llamado CSIC, 2004), Decca-IC, FADU, UdelaR, Montevideo. Disponible en: http://www.fadu.edu.uy/ic/files/2012/03/CSICID_2007.pdf (consultado en agosto de 2019).

Leydecker, S. (2008). *Nano materials in Architecture, Interior Architecture and Design.* Berlín: Birkhäuser.

Picción, A., Camacho, M., López, M. y Milicua, S. (2009). *Pautas de diseño bioclimático para optimizar condiciones de confort y uso de energía en el sector residencial financiado por organismos públicos, para Uruguay, caso de clima complejo.* Informe final de proyecto de investigación (PDT, DICyT y MEC, 2006-2008), Decca-IC, FADU, UdelaR, Montevideo. Disponible en: http://www.fadu.edu.uy/ic/files/2019/08/PDT06.pdf (consultado en agosto de 2019).

Trebilcock, M. (Ed.). (2012). *Manual de hermeticidad al aire de edificaciones.* Concepción: Universidad de Bío Bío. Disponible en: https://issuu.com/citecubb/docs/manual_web (consultado en agosto de 2019).

UNIT. (1999). *Aislamiento térmico de los edificios - Zonificación climática. UNIT 1026:99.* Montevideo: UNIT.

UNIT. (2010). *Desempeño térmico de los edificios de uso residencial. Diseño de la envolvente. Parámetros y guías para el cálculo. UNIT 1150:2010.* Montevideo: UNIT.

La oportunidad para la madera contralaminada en Uruguay

DANIEL GODOY

Arquitecto y doctor en Arquitectura. Trabaja en el Instituto de Ensayo de Materiales de la Facultad de Ingeniería (UdelaR) y en el Instituto de la Construcción de la Facultad de Diseño, Arquitectura y Urbanismo (UdelaR).

Introducción

¿QUÉ SON LOS PANELES DE MADERA CONTRALAMINADA?

El método de construcción con madera más tradicional y extendido a nivel mundial es el entramado ligero, basado en la combinación de elementos portantes ligeros —entramado— que trabajan solidariamente con elementos de cerramiento y/o revestimiento y aportan al conjunto la resistencia y rigidez necesarias ante las acciones verticales y horizontales (Peraza Sánchez, 1995). No obstante, el producto estrella a nivel internacional en la construcción de edificaciones de madera, hoy en día, es la madera contralaminada conocida como Cross Laminated Timber [CLT].

Los paneles de CLT están formados por tablas de madera aserrada que se vinculan entre sí por medio de un adhesivo, colocándose una sobre otra en capas superpuestas de modo que la dirección de las tablas en cada capa es perpendicular a la anterior (fig. 1). Los paneles son fabricados, en general, con una cantidad de capas que pueden ir desde 3 hasta 7, incluso más, siendo simétricos a partir de una capa central. Se trata de un producto estructural muy versátil gracias al gran tamaño de las placas, que permite que oficien tanto de cerramientos horizontales estructurales, intermedios o superiores, como de muros de carga, dando lugar a un innovador sistema constructivo. Los paneles CLT son producidos con maderas de coníferas provenientes, generalmente, de bosques cultivados con fines de explotación comercial. La utilización de la

FIGURA 1. PANELES CLT. A LA IZQUIERDA, ESQUEMA DE CONFORMACIÓN DEL PANEL CLT. FUENTE: LAGUARDA MALLO Y ESPINOZA, 2014. A LA DERECHA, PANELES DE 3 Y 5 CAPAS. FUENTE: HTTPS://BUILDINGRESILIENCECOALITION.ORG

madera de coníferas se debe a su facilidad de mecanización y a su bajo costo, aspecto fundamental para la competitividad del sistema, ya que utiliza grandes cantidades del material.

Los tamaños de los paneles varían según los fabricantes, siendo habituales los anchos de entre 2,4 m y 3 m. Las longitudes dependen de las instalaciones de cada proveedor, pudiendo ser de hasta 18 m; aunque, por lo general, el largo está limitado por aspectos logísticos referidos al transporte. Los espesores comerciales habituales varían entre los 12 cm y 18 cm para paneles de losa y entre los 14 cm y 20 cm para los paneles de muro. No obstante, pueden fabricarse con espesores mayores de acuerdo a demanda, existiendo capacidad para hacer paneles de hasta 50 cm de espesor.

EL SISTEMA CONSTRUCTIVO

En este sistema constructivo los paneles se fabrican a medida para cada edificación, realizándose piezas de grandes dimensiones, con vanos incluidos, que luego se colocarán en obra conformando tramos de fachada o losas completas (fig. 2). Los vanos para las aberturas, los ensamble con otros elementos constructivos y el pasaje de instalaciones son realizados en fábrica mediante corte CNC. Esto hace que la fabricación de los paneles esté ligada siempre a un proyecto ejecutivo y de despiece previo, con la ventaja de una excelente coordinación de las piezas, que conlleva una elevada rapidez de montaje, pero con el inconveniente de la inexistencia de un *stock* de paneles CLT para ser usados en diferentes edificaciones.

Los países líderes en el uso del CLT son Austria, Alemania, Suiza, Suecia, Noruega y el Reino Unido. La producción ha tenido un crecimiento constante desde el año 2000, con tasas de crecimiento del 15% al 20% por año en las capacidades de producción en Europa (Brandner, Flatscher, Ringhofer, Schickhofer y Thiel, 2016) En el año 2015 se produjeron unos 630.000 m^3 en Europa, según el Centre for the Promotion of Imports (CBI, 2015), y existe una proyección de 3 millones de m^3 para el año 2025 (Plackner, 2015). Dentro del ámbito de la construcción con madera, la edificación con paneles CLT ha supuesto una revolución, ya que su lógica constructiva es muy diferente a la de otros sistemas de madera. Unos de los mayores impactos que han tenido estos paneles es que habilitaron un nicho de mercado en el que no participaba la construcción con madera: la edificación en altura de más de 4 niveles.

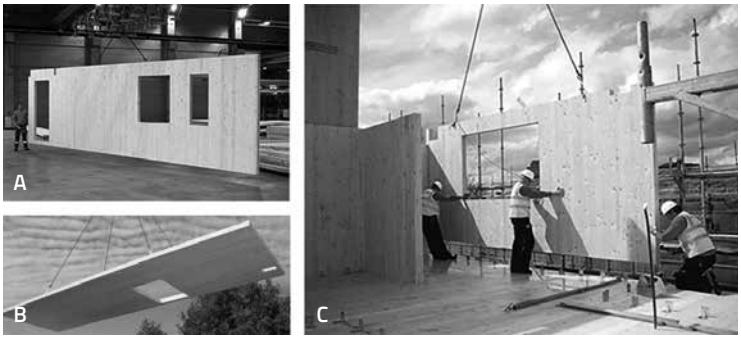


FIGURA 2. MONTAJE DE PANELES CLT: A) PANEL EN PLANTA. FUENTE: WWW.GUARDIANSTRUCTURES.CA; B) COLOCACIÓN DE UN PANEL DE PARED EN OBRA. FUENTE: WWW.WOODSKYSCRAPERS.COM; C) COLOCACIÓN DE UN PANEL DE LOSA EN OBRA. FUENTE: WWW.TREEHUGGER.COM

FIGURA 3. A) EDIFICIO UBC COMMONS, 2016. FUENTE: HTTP://ASPECTENGINEERS.COM; B) EDIFICIO OAKWOOD TOWER, 2017. FUENTE: HTTPS://WWW.DEZEEN.COM; C) EDIFICIO RIVER BEECH, 2017 FUENTE: HTTPS://WWW.CURBED.COM

En la actualidad, el edificio más alto del mundo construido con paneles CLT es una residencia estudiantil de la Universidad de British Columbia, Canadá, con 18 niveles y 53 metros de altura (fig. 3a). Recientemente se concluyeron dos edificios de 81 y 85 metros de altura que combinan en su estructura diversos productos de ingeniería en madera y utilizan CLT como tecnología predominante (Moelven Limtre, 2019; Woschitz Group, 2019). Desde el campo teórico, varios son los autores que han propuesto la viabilidad técnica de realizar rascacielos en madera, como Michael Green (Green, 2013), PLP Architecture, con su edificio de 80 pisos Oakwood Tower (PLP Architecture, 2018) (fig. 3b), el edificio River Beech de Perkins + Will (Ctbuh, 2017) (fig. 3c), entre otros, todos utilizando la tecnología de la madera contralaminada.

MODELO DE COMERCIALIZACIÓN

La posibilidad de prefabricar el edificio completo y trasladar posteriormente los paneles que lo componen a su ubicación final permite entender esta forma de construir como «edificio para armar», realizando una analogía con los muebles de madera. Además, los paneles CLT son un producto que admite un proceso de diseño, fabricación y montaje a escala global. Existen experiencias

FIGURA 4. COMPLEJO HOTELERO LA JUANITA EN JOSÉ IGNACIO. FUENTE: ENKEL GROUP, 2018.

de paneles fabricados en Austria, utilizados posteriormente en edificios de 10 niveles construidos en Australia (Lend Lease, 2013), Estados Unidos (Laguarda Mallo y Espinoza, 2014), Taiwán (KLH, 2012), entre otros sitios. En Uruguay se han construido viviendas (Sustent Arq., 2015), una capilla (Mapa, 2017) y un hotel, con paneles importados de Europa, como se aprecia en la figura 4 (Enkel Group, 2018).

En la actualidad, cerca del 90% de la producción mundial se concentra en Europa (Harte, 2017), donde los paneles son fabricados a partir de madera aserrada de clase resistente C24, con una $f_{m,k}$ = 24 MPa y un $E_{0,m}$ = 11000 MPa,[1] según la norma EN 338 (Aenor, 2016), por ser estas las propiedades de la madera más abundante.

Ahora bien, este modelo de comercialización puede ser discutible desde el punto de vista económico y medioambiental. En primer lugar, parece carecer de sentido la importación de un recurso disponible localmente. En segundo lugar, la utilización de madera estructural en edificios supone un bajo consumo energético tanto en la etapa de explotación forestal como en la transformación posterior de la materia prima en productos terminados, siendo probablemente el material de menor consumo en este rubro en la actualidad (Ramage et al., 2017) El traslado de este volumen de material desde las fábricas en Europa hasta su lugar de montaje, en ocasiones a medio planeta de distancia, no resulta justificable por la huella de carbono resultante.

La oportunidad en Uruguay

AVANCES EN LA INVESTIGACIÓN

La materia prima local disponible presenta dos características principales. En primer lugar, por tratarse de plantaciones de rápido crecimiento, no alcanza las características mecánicas de las maderas europeas empleadas normalmente en la fabricación de paneles CLT. La norma *UNIT 1261* establece dos calidades visuales para el pino de origen nacional, denominadas calidad EC1 y EC0. La calidad EC1 correspondería a una clase resistente C14 de acuerdo a la norma *EN 338* (Aenor, 2016) y la calidad EC0 no encuentra correspondencia por tener menores propiedades mecánicas que la clase mínima establecida en esta norma —le asignaremos una clase teórica «C11»—. En segundo lugar,

1. $f_{m,k}$= resistencia a flexión característica, $E_{0,m}$= módulo de elasticidad medio

dadas las características del mercado local, gran parte de la madera cultivada de pino, un estimado de 1,7 millones de m^3 de trozas al año, no tiene destino industrial actual (Dieste, 2012), es decir, sería posible encontrar madera disponible a bajo costo relativo, pero con bajas propiedades mecánicas.

Investigaciones recientes han demostrado la viabilidad técnica de la utilización de paneles realizados con madera de pino uruguayo para su uso en programas de vivienda (Baño, Godoy y Vega, 2016) y puentes (Baño et al., 2017). No obstante, el uso de esta madera para la fabricación de paneles CLT deriva en un aumento de los espesores de los cerramientos de una edificación para cumplir con los mismos requerimientos estructurales, comparado con paneles comerciales. La utilización de madera clasificada visualmente como EC0 y EC1 —clase resistente «C11» y C14, respectivamente— para su uso en entrepisos de edificios residenciales supone el uso de un 26% más de madera en paneles de 3 capas y del 15% más en paneles de 5 capas (Baño, Godoy, Moya y Domenech, 2018) respecto a los paneles comerciales C24. Mientras que el uso de madera proveniente de raleos forestales, es decir, madera joven cortada antes del fin del ciclo, de propiedades menores que la madera adulta, implica un aumento del volumen de un 18% para vivienda y oficinas y hasta de un 30% para programas con mayor exigencia estructural (Baño, Godoy, Figueredo y Vega, 2018).

CONSIDERACIONES ACERCA DE LA INSERCIÓN DEL SISTEMA A NIVEL LOCAL

En las condiciones actuales, el sistema resulta competitivo para algunos programas arquitectónicos en Uruguay, utilizando paneles importados de Europa (Abergo, 2017; Rognoni, 2019). En el estudio realizado por la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República (Dieste et al., 2018) se plantea que es viable económicamente fabricar paneles a un precio similar al del mercado internacional con los costos internos del Uruguay. No obstante, la hipótesis de partida asume una producción anual de 30.000 m^3/año, lo cual implicaría necesariamente considerar un mercado potencial más amplio que el uruguayo. Para escalas de producción más pequeñas es necesario realizar nuevos estudios de viabilidad.

En Uruguay, construir edificaciones en madera por proyectos individuales es, en general, más costoso que la construcción tradicional, al igual que en varios países (Vega Cueto, 2017; Ugarte, 2018). Si se pretende hacer competitiva la construcción en madera, el desafío pasa por aumentar la industrialización del sector. Este concepto es más amplio que la mera prefabricación de componentes, puesto que el grado de prefabricación en realidad está relacionado con el grado de industrialización. La misma puede ser definida utilizando la siguiente ecuación (Rollon de la Mata, 2011): industrialización = prefabricación + mecanización + automatización + robotización + racionalización.

Para lograr la industrialización es necesario que se den otros fenómenos, enumerados en la ecuación, los cuales deben estar presentes en la totalidad

del hecho constructivo. Por ejemplo, no basta con realizar piezas prefabricadas en un taller con una alta calidad de producto para que el proceso en su conjunto tenga una alta industrialización, por lo que el grado de industrialización siempre estará referido a ciertas condiciones tecnológicas existentes en el medio donde se vaya a producir, que se verifican o no en cada contexto. En las actuales condiciones del mercado, los paneles son importados prontos para armar y esto incluye el proyecto de ingeniería de montaje —procedimientos, planos generados en BIM, cantidad y tipo de anclajes estandarizados según cálculo, etcétera—, siendo la mano de obra para el montaje el único aporte local. El desarrollo local del sistema pasa no solo por la capacidad de producir el panel, sino por lograr el desarrollo de otras capacidades técnicas que permitan lograr la industrialización del proceso.

Para implantar de forma más extendida en el Uruguay el sistema constructivo en base a paneles CLT, con paneles de fabricación local, serían necesarias algunas condicionantes de partida que parecen estar presentes en la actualidad en el Uruguay:

1. Existencia de madera en forma abundante y a un relativo bajo costo, ya que los paneles están constituidos por altas cantidades de material;
2. Existencia de una brecha importante entre el costo de la mano de obra en sitio y el costo de la mano de obra en fábrica, ya que una de las principales fortalezas del sistema constructivo con paneles CLT es su velocidad de montaje en sitio, tres veces más rápida que la construcción tradicional (Kuilen, Ceccotti, Xia y He, 2011);
3. Existencia en el mercado local de interés industrial en diversificar la matriz de productos en base a pino como forma de utilizar un recurso con poca demanda.

La permanencia en el tiempo de estos factores se plantea probable, lo que sustenta a largo plazo la introducción del sistema.

Por último, otro aspecto a discutir es cuál es la mejor estrategia para la introducción en el mercado de este sistema constructivo, más allá del nicho de mercado final al cual se apunte. En opinión de Michael Green, la mejor opción para comenzar en Chile es la realización de edificaciones de alto estándar (Green, 2017). En el mismo sentido, pero para la inserción del CLT en el mercado de los Estados Unidos, se advierte que, una vez superadas ciertas etapas habituales en la adopción del nuevo producto, es el propio consumidor el que se vuelve un promotor en su comunidad (Laguarda Mallo y Espinoza, 2015). Es así que se debe ser muy precavido con la calidad técnica de las primeras construcciones, ya que esos primeros consumidores innovadores pueden influir significativamente en el éxito o no del nuevo sistema.

A modo de ejemplo, los fabricantes de elementos de carpintería y aberturas, frente a la disponibilidad actual de madera nacional, ampliaron su oferta y comenzaron a producir vigas de madera laminada encolada sin adaptar la tecnología de producción, volcando al mercado productos laminados no estructurales, amparados por la inexistencia de un marco regulatorio que esta-

blezca requisitos de fabricación. Estos productos sin especificaciones técnicas son consumidos por usuarios que desconocen las implicancias que conlleva su empleo como material estructural (Pérez Gomar, 2017). Esta situación, si se la proyecta en el tiempo, probablemente produzca fallas en algunos de estos elementos que operarán en contra de la buena reputación de la madera como material para la construcción. En la actualidad, el Comité de Madera Estructural de UNIT está elaborando normativas referentes a los requisitos y las condiciones de fabricación que deben cumplir las piezas de madera laminada encolada. Una rigurosa introducción de la madera estructural debería apoyarse en la incorporación al mercado de productos con prestaciones conocidas, que brinden confianza tanto al diseñador como al usuario.

Conclusiones

La utilización de paneles CLT de madera nacional de bajas propiedades mecánicas es viable técnicamente, pero implica un aumento generalizado de espesores para cumplir con los requisitos de resistencia estructural, si se los compara con los paneles comerciales existentes en el mercado.

No obstante, los aspectos estructurales no son los únicos que definen el espesor de los cerramientos, ya que estos deben cumplir simultáneamente con varios requisitos. Al tratarse de una construcción masiva en madera, el desempeño del cerramiento aumenta si este aumenta en espesor, producto de su condición homogénea vinculada a algunas propiedades físicas del material como la transmitancia térmica, la aislación acústica a ruidos aéreos, la resistencia al fuego, etcétera, por lo que un aumento no es necesariamente una desventaja. Son necesarias futuras investigaciones para establecer la incidencia de dichos parámetros en los costos finales de construcción.

Se trata de un producto estructural, por lo que la fabricación local debe apoyarse en procedimientos de fabricación de acuerdo a una normativa de producto, asegurando la constancia de la calidad y las propiedades a lo largo del tiempo.

Bibliografía

Aenor. (2016). *EN 338. Madera estructural. Clases resistentes*. Madrid: Asociación Española de Normalización y Certificación.

Baño, V., Godoy, D., Figueredo, D. y Vega, A. (2018). Characterization and Structural Performance in Bending of CLT Panels Made from Small-Diameter Logs of Loblolly/Slash Pine. *Materials, 11* (12), pp. 24-36. Disponible en: http://www.mdpi.com/1996-1944/11/12/2436

Baño, V., Godoy, D., Moya, L. y Domenech, L. (2018). Influencia de las clases resistentes del pino uruguayo en el diseño de paneles de madera contralaminada. Sao Carlos, Brasil: XVI Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, III Congresso Latino-americano de Estruturas de Madeira, Ibramem, p. 14.

Baño, V., Godoy, D. y Vega, A. (2016). Experimental and Numerical Evaluation of Cross-Laminated Timber (CLT) Panels Produced with Pine Timber from Thinnings in Uruguay. *World Conference on Timber Engineering 2016: WCTE 2016, August 22-25, 2016*. S.l.: s.n.

Baño, V., Mazzey, C., Godoy, D., Moya, L. y Vega, A. (2017). Fabricación de un prototipo de puente vehicular a partir del desarrollo de productos de ingeniería de madera de pino uruguayo. *II Congreso Latinoamericano de Estructuras de Madera, II Congreso Ibero-Latinoamericano de la Madera en la Construcción*. Junin, Argentina: s.n., p. 11.

Brandner, R., Flatscher, G., Ringhofer, A., Schickhofer, G. y Thiel, A. (2016). Cross laminated timber (CLT): overview and development. *European Journal of Wood and Wood Products*, *74* (3), pp. 331-351, doi: 10.1007/s00107-015-0999-5.

CBI. (2015). CBI Product Factsheet : Cross Laminated Timber (CLT) Western Europe. Disponible en: https://www.cbi.eu/market-information/timber-products/cross-laminated-timber/europe/

Ctbuh. (2017). River Beech Tower: A tall timber experiment. *CTBUH papers. Journal 2017* [en línea]. Disponible en: ctbuh.org/papers (consultado en agosto de 2017).

Dieste, A. (2012). *Programa de promoción de exportaciones de productos de madera.* Montevideo: Dirección Nacional de Industrias del MIEM.

Dieste, A., Cassella, F., Moltini, G., Palombo, V., Clavijo, L., Cabrera, M.N. y Baño Gómez, V. (2018). Forest-based bioeconomy areas Strategic products from a technological point of view. Montevideo: Facultad de Ingenieria, Universidad de la República. Disponible en: https://www.fing.edu.uy/sites/default/files/2016/25086/FING_Forest-based Bioeconomy Areas.pdf

Enkel group. (2018). *Hotel La Juanita.* Comunicación personal.

Green, M. (2013). *Por qué debemos construir rascacielos de madera* [en línea]. TED 2013. Disponible en: www.ted.com.

Green, M. (2017). Conferencia. *Semana de la madera.* Santiago de Chile, 24 de agosto de 2017.

Harte, A. M. (2017). Mass timber – the emergence of a modern construction material. *Journal of Structural Integrity and Maintenance*, *2* (3), pp. 121-132, doi: 10.1080/24705314.2017.1354156. Disponible en: https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/24705314.2017.1354156

KLH, Edificio Woodtek HQ (s.f). Disponible en: https://www.klh.at/es/references/projects/woodtekhq

Kuilen, J. W. G. V., De, Ceccotti, A., Xia, Z., y He, M. (2011). Very Tall Wooden Buildings with Cross Laminated Timber. *Procedia Engineering*, *14*, pp. 1621–1628. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.07.204

Laguarda Mallo, M. F. y Espinoza, O. (2014). Outlook for Cross-Laminated Timber in the United States, *9*, pp. 7427–7443.

Laguarda Mallo, M.F. y Espinoza, O. (2015). Awareness, perceptions and willingness to adopt Cross-Laminated Timber by the architecture community in the United States. *Journal of Cleaner Production*, vol. 94, n° february, pp. 198-210, doi: 10.1016/j.jclepro.2015.01.090.

Lend Lease. (2103). *Forté* building web page [en línea]. Disponible en: www.forteliving.com.au (consultado el 5 de enero de 2016).

MAPA. (2017). *Capilla Sacromonte* [en línea]. Disponible en: https://mapaarq.com/cap (consultado el 9 de agosto de 2019)

Moelven Limtre. (2019). *Mjøstårnet* [en línea]. Disponible en: https://www.moelven.com/mjostarnet/ (consultado el 27 de agosto de 2019).

Peraza Sánchez, J. E. (1995). *Casas de madera: los sistemas constructivos a base de madera aplicados a las viviendas unifamiliares*. Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera y Corcho. Disponible en: http://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=st1kDBi-TvYC&pgis=1

Pérez Gomar, C. (2017). *Optimización del proceso productivo de vigas de madera laminada encolada para uso estructural El caso de una empresa en Uruguay*. Universidad del Bío Bío.

Plackner, H. (2015). *Brettsperrholz wächst global*. Disponible en: https://www.holzkurier.com/schnittholz/2015/02/brettsperrholz_waechstglobal.html (consultado el 5 de agosto de 2019).

PLP Architecture. (2018). Oakwood Timber Tower, London, UK. Research Proposal. Disponible en: www.plparchitecture.com/oakwood-timber- tower.html (consultado el 6 de febrero de 2018).

Ramage, M. H., Burridge, H., Busse-Wicher, M., Fereday, G., Reynolds, T., Shah, D. U. y Scherman, O. (2017). The wood from the trees: The use of timber in construction. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *68* (September 2016), pp. 333–359. https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.09.107

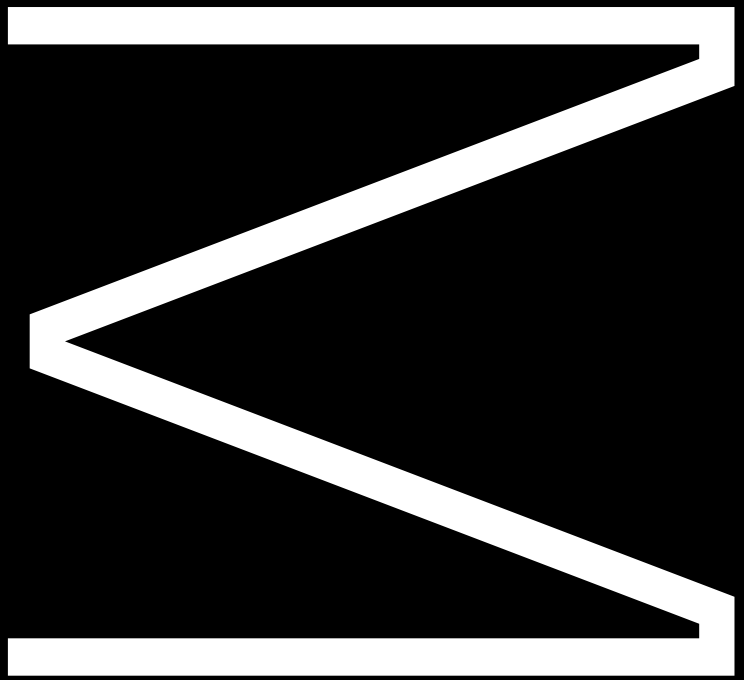
Rollon de la Mata, J. (2011). *Influencia del grado de industrialización en la planificación de una obra*. Universidad Politécnica de Madrid.

Sustent Arq. (2015). *Casas sustentables*. Disponible en: https://www.youtube.com/channel/UChKa9ETgG48r8ruyTpmp4Bw (consultado el 9 de febrero de 2018).

Ugarte, J. J. (2018). *Profesionales de la madera en el siglo XXI: nuevas trayectorias formativas*. Conferencia Universidad ORT 14/6/2018.

Vega Cueto, A. (2017). Comunicación personal. Centro Tecnológico Forestal y de la Madera, Asturias, España.

Woschitz Group. (2019). HoHo (Wooden tower) Vienna. Disponible en: https://www.woschitzgroup.com/en/projects/hoho-vienna-wooden-tower/ (consultado el 27 de agosto de 2019).



materia

La evaluación de sistemas constructivos no tradicionales en programas habitacionales

La experiencia del equipo docente del Instituto de la Construcción a través del Informe Técnico de Evaluación

GRACIELA MUSSIO

Arquitecta y Profesora Adjunta en el Área de Estructura del Instituto de la Construcción (FADU-UdelaR). Desde el 2011 trabaja como responsable de la coordinación técnica, evaluación de los requisitos de seguridad estructural (impacto de cuerpo duro y cuerpo blando) y emisión de los Informes Técnicos de Evaluación en el convenio específico *Evaluación integral de sistemas constructivos no tradicionales para vivienda de interés social* (FARQ-Mvotma).

La construcción de viviendas con empleo de tecnologías no tradicionales en nuestro país se vio potencializada desde el año 2011 a partir de la inclusión de las mismas en los programas habitacionales que promueve el Ministerio de Vivienda, Ordenamiento Territorial y Medio Ambiente [Mvotma].

A los efectos de asegurar la aptitud de los sistemas presentados en estos programas, el Mvotma estableció, como requisito previo a su presentación, la gestión del Documento de Idoneidad Técnica [DAT], de acuerdo a lo establecido en el *Reglamento de otorgamiento de aptitud técnica a sistemas constructivos no tradicionales para producción de viviendas* por resolución ministerial n° 553/2011 de fecha 8 de Junio de 2011.

Para obtener este documento, el proponente debe presentar un Informe Técnico de Evaluación [ITE] que exprese que el sistema constructivo, para el alcance solicitado, cumple con las exigencias establecidas por la Dirección Nacional de Vivienda [Dinavi] en el documento *Estándares de Desempeño y Requisitos para la Vivienda de Interés Social* (Dinavi-Mvotma, 2011).

En el marco del reglamento, se le confiere al Instituto de la Construcción [IC] de la Facultad de Arquitectura, Diseño y Urbanismo [FADU] de la UdelaR la responsabilidad de llevar a cabo el análisis de los sistemas constructivos no tradicionales y, en caso de aprobación, la emisión del ITE.

Los ocho años de participación en este proyecto de extensión permiten realizar una visión crítica retrospectiva sobre los resultados de la aplicación del convenio en el ámbito de la especificidad que se le ha conferido al instituto.

Compromiso asumido por el equipo docente del IC

El convenio específico firmado por la FADU establece para el Instituto de la Construcción las siguientes responsabilidades:

- evaluación del Sistema Constructivo no Tradicional [SCNT] y emisión del ITE correspondiente;
- informes mensuales a la Dinavi, durante el período de vigencia del convenio, que incluyan información sobre los expedientes recibidos y las dificultades presentadas en el proceso de evaluación y sus resultados, con el objetivo de disponer de nuevos datos para la mejora de la gestión;
- un tiempo de respuesta de 20 días hábiles a partir de la aceptación de la solicitud y la comprobación del cumplimiento de los requisitos, así como un máximo de 7 solicitudes en simultáneo.

El ITE constituye la expresión por escrito de que el SCNT presentado por un proponente cumple integralmente con todos los requisitos de desempeño establecidos en el documento *Estándares de Desempeño de la Vivienda de Interés Social*.

Durante el primer año de aplicación del convenio se permitía la emisión de un Informe Técnico de Evaluación con «observaciones o incumplimientos» sobre algunas de las condiciones estipuladas en *Estándares*, pero a partir de setiembre de 2012 solo pudo habilitarse la emisión de un ITE con una comprobación integral y completa de las mismas.

Objeto y campo de aplicación

El *Reglamento de otorgamiento* del DAT establece que el campo de aplicación incluye sistemas constructivos o componentes.

Así mismo define que un sistema constructivo no tradicional es aquel «que no se rige en su diseño y construcción por especificaciones y/o procedimientos constructivos establecidos en la Memoria General para Edificios Públicos del MTOP» (Mvotma, 2011).

El sistema de evaluación

A partir de la firma del convenio entre FADU y Mvotma, en julio de 2011, se constituyó en el IC un equipo de trabajo *ad hoc* con especialistas en las materias técnicas involucradas: construcción, seguridad estructural y contra el fuego, desempeño higrotérmico y acústico, instalaciones sanitarias y eléctricas.

A los efectos de garantizar un sistema de trabajo eficaz y eficiente, se implementó un sistema de gestión que incluye:

- procedimiento referido a la metodología de trabajo;
- medios de comunicación internos y externos, como página *web* y cuenta de correo electrónico FADU exclusiva para los ITE;
- elaboración de formatos para el inicio del trámite, la solicitud de información adicional, el informe de estatus de los expedientes al Mvotma e informe final ITE.

En resguardo de la fiabilidad de todo el proceso, cada docente que interviene en la evaluación de desempeño firma un compromiso en el que declara no realizar actividades de consultoría relacionadas con los sistemas presentados y que toda la información acerca de los mismos, a la que tiene acceso para la emisión del ITE, será tratada con confidencialidad, prohibiéndose su difusión en cualquier ámbito académico o particular.

Adicionalmente a los compromisos referidos a los tiempos de respuesta de emisión del ITE, el equipo de trabajo del IC estableció y comunicó a la Dinavi y a los proponentes que, frente a cada evaluación preliminar de la documentación que amerite una observación, se emitirá un informe de solicitud de presentación de información adicional en un plazo máximo de tres días hábiles. En este se incluirían las observaciones relevadas por el equipo, referenciadas a los requisitos de desempeño aplicables.

Resultados de la aplicación

En estos ocho años de aplicación del convenio, el equipo ha evaluado 43 sistemas constructivos no tradicionales, pero solo 17 de ellos —un 39%— han obtenido el ITE correspondiente.

Las razones que fundamentan este resultado refieren a varios aspectos. Para empezar, ciertas características de la información del SCNT. Primero, porque suele ser incompleta, con omisión de cortes integrales, detalles de encuentros con instalaciones, cálculos higrotérmicos y acústicos, ensayos de impacto de cuerpo duro y blando, resistencia al fuego, memorias de cálculo de verificación de resistencia estructural frente a la acción del viento, etcétera, lo que no permite la evaluación integral de los requisitos. Segundo, por su frecuente inconsistencia, con informes de ensayos o certificaciones de componentes diferentes al sistema presentado, incoherencias entre la descripción del sistema presentado en el expediente y la gráfica, las memorias de cálculo o los componentes ensayados.

Por otro lado, muchas propuestas que presentan certificaciones extranjeras del SCNT no aportan la información requerida para la verificación del cumplimiento de condiciones locales como, por ejemplo, la resistencia a la acción del viento y el desempeño higrotérmico. En estos casos, las adaptaciones locales de estos sistemas generalmente implican modificaciones en la composición o en las terminaciones de los cerramientos verticales o superiores con el fin de asegurar el cumplimiento de los requisitos nacionales de desempeño

SISTEMA CONCREXPUMA. FOTOS: BROMYROS S.A

ARTIGAS
ARTIGAS+

SISTEMA CRUPE. FOTO CATÁLOGO SOLID SYSTEM/ GRUPO CRUPE

higrotérmico, lo que trae como consecuencia la necesidad de evaluar nuevamente algunos requisitos de forma de asegurar el cumplimiento integral.

Se constata con frecuencia, además, un desconocimiento de los requisitos del Mvotma, así como se reiteran dificultades en la comprensión de los mismos por parte de representantes no técnicos de la empresa en la gestión del ITE, lo que conduce a que se reiteren las mismas observaciones durante su tramitación.

Otra razón que incide en la cifra de obtención mencionada es la presentación de SCNT por parte de una persona que no representa técnicamente al proponente ni cuenta con la autorización para la utilización de esa información.

En muchos de los casos expuestos, el levantamiento de la observación demanda al proponente un tiempo prolongado vinculado a la realización de prototipos, ensayos en el exterior y otros inconvenientes de gestión relacionados a las autorizaciones de quien tiene la patente.

Adicionalmente, se destaca la dificultad de algunos proponentes con la evaluación de requisitos de desempeño de seguridad vinculada al fuego, ya que desde la aplicación del reglamento del DAT no existe infraestructura a nivel nacional —organismos públicos o privados— que esté en condiciones de

SISTEMA SPM. FOTO: MONTFRIO LTDA.

ofrecer este servicio. Esto trae como consecuencia que los proponentes que no dispongan de ensayos de origen —para el caso de sistemas extranjeros— deban solicitar ensayos en laboratorios de la región, lo cual incrementa costos y tiempos de evaluación.

Asimismo, resulta interesante observar que la gran mayoría de los sistemas constructivos están basados en componentes de producción extranjera. Solo 5 de los sistemas que obtuvieron el ITE se producen a nivel nacional.

Particularmente, para los sistemas constructivos que incluyen componentes de madera, con o sin función estructural, durante este período se presentaron dos sistemas —uno de producción nacional y otro extranjero—; pero hasta la fecha, ninguno ha logrado la obtención del ITE.

Cabe señalar que desde el Mvotma, en el año 2014, se consideró pertinente aprobar la inclusión de requisitos de desempeño que atendieran las condiciones de seguridad estructural frente a impactos de cuerpo blando en los cerramientos verticales exteriores livianos. Estos requisitos no estaban incluidos en el documento original y resultaban pertinentes para la evaluación de los SCNT que incluyen sistemas de montantes y cerramiento vertical con multicapas así como revestimientos de fácil reposición.

SISTEMA SPM. FOTO: MONTFRIO LTDA.

SISTEMA EMMEDUE
FOTOS: M2-ITALIA

Otro aspecto a destacar refiere a una disminución significativa de los SCNT presentados para evaluación durante los últimos años. En este sentido, se constata que en el primer lustro de aplicación del *Reglamento de otorgamiento* del DAT se presentó el 95% de los trámites para obtención del ITE.

Finalmente, corresponde señalar que la gestión de los ITE, durante estos 8 años, permitió consolidar en el Instituto de la Construcción un equipo docente multidisciplinario, que trabajó con fuerte interacción, coordinando informes parciales y finales de forma de dar cumplimiento a los requisitos de tramitación —3 días hábiles, retroalimentación preliminar; 20 días hábiles, entrega del informe final, una vez que se verificó el cumplimiento integral de los requisitos—.

El trabajo de extensión llevado a cabo en el marco del convenio con el Mvotma le permitió a los docentes del Instituto de la Construcción de FADU actualizar sus conocimientos en relación a tecnologías de construcción no tradicionales, temática que en la actualidad se incluye como parte de la formación de grado en este centro de estudios.

Bibliografía

Dinavi-Mvotma. (2011). *Estándares de desempeño y requisitos para la vivienda de interés social.* Disponible en: http://www.mvotma.gub.uy/component/k2/item/10010231-estandares-de-desempeno-y-requisitos-para-la-vivienda-de-interes-social-2011

Mvotma. (2011). *Reglamento de otorgamiento de aptitud técnica a sistemas constructivos no tradicionales para producción de viviendas.* Disponible en: https://www.mvotma.gub.uy/component/k2/item/10010230-reglamento-de-otorgamiento-del-dat-2011

Mvotma. (2014). *Modificaciones de los estándares de desempeño y requisitos para la vivienda de interés social.* Disponible en: https://www.mvotma.gub.uy/component/k2/item/10010232-modificaciones-de-los-estandares-de-desempeno-y-requisitos-2014

Estructuras de construcciones en sistema *Steel Framing*

GABRIEL BOCCARATO

Arquitecto. Integrante de la Comisión de Calidad y Patologías de la Sociedad de Arquitectos del Uruguay y del Registro Único de Peritos de la Suprema Corte de Justicia. Asociado a la Asociación Uruguaya de Peritos. Miembro fundador del Instituto Uruguayo de Construcción en Seco, donde se ha desempeñado como docente de cursos introductorios de *Steel Framing* y coordinador de contenidos técnicos de manuales relativos al sistema.

El sistema constructivo *Steel Framing* es un sistema relativamente nuevo en nuestro medio, si bien su aparición data de hace casi tres décadas. En otros mercados, como el norteamericano, es el sistema más desarrollado y adoptado, constituyéndose en el sistema tradicional de construcción. Esto ha logrado un importante desarrollo de los ensayos de productos, la normativa de aplicación y los códigos de edificación específicos para este sistema.

Debido a sus múltiples ventajas como la rapidez de ejecución, certificación de los productos componentes del sistema, elevada industrialización de los procesos de fabricación, un alto desempeño acústico, eficiencia energética, elevada vida útil y «reciclabilidad», entre muchas otras, ha sido acogido masivamente en los últimos tiempos.

La adopción de tecnologías foráneas, sin la consideración de las particularidades locales o el imprescindible conocimiento de sus buenas prácticas, ha generado la aparición de varios tipos de patologías, principalmente en construcciones apartadas de los procesos formales de construcción.

Es con esta finalidad que se ha creado, hace algunos años, el Instituto Uruguayo de Construcción en Seco [Iucose], con el múltiple propósito de difundir las buenas prácticas constructivas del sistema, capacitar técnicos del medio y promover la adopción de normativa internacional en diferentes aspectos del proceso constructivo, entre otros objetivos.

El presente trabajo se enfocará en aspectos esenciales de los componentes estructurales del sistema.

Para el cálculo estructural de obras en *Steel Framing* se utiliza el reglamento *Cirsoc 303 – Reglamento argentino de elementos estructurales de acero de sección abierta conformados en frío.* Asimismo, es aplicable el reglamento del AISI [American Iron and Steel Institute], *Especificaciones para el diseño de miembros estructurales de acero conformado en frío*, que integra dos métodos de diseño: el Diseño por Tensiones Adminisibles [ASD] y el Diseño por Factores de Carga y Resistencia [LRFD].[1] Existen otros métodos de cálculo igualmente válidos. En nuestro medio no hay una normativa específica aplicable al diseño de estructuras en *Steel Framing*, razón por la cual se utiliza normativa extranjera.

Las edificaciones están sometidas a cargas de diversa índole. Hay cargas de origen natural y cargas provocadas por la actividad humana, tomando en cuenta el uso para el cual el edificio ha sido concebido.

Carga de viento W *(Wind)*

Los sistemas livianos deben considerar especialmente la acción de la carga de viento, verificando las estructuras a esta solicitación, tanto por resistencia como por deformaciones. En los componentes edilicios pueden generarse tanto presiones positivas como negativas.

Los esfuerzos de succión pueden generar fuerzas ascendentes que superen el peso propio de la cubierta y, eventualmente, otros elementos. De esta manera, la succión provocada por la carga de viento puede sobrepasar el peso propio, siendo necesario anclar correctamente los distintos elementos componentes de la cubierta para evitar que se vuele, literalmente. Los anclajes deben, por lo tanto, diseñarse y especificarse claramente en lo que respecta a tipos, capacidad resistente y ubicación, quedando determinados en el cálculo estructural.

Del mismo modo, componentes que se encuentran traccionados, mientras no actúa la fuerza de viento, podrían quedar sometidos a compresión ante la ocurrencia de esta acción. En este sentido, hay que asegurarse que los cordones inferiores de las cabriadas, sometidos a tracción en condiciones sin carga de viento, no tengan problemas de pandeo al actuar dicha carga.

Para determinar la intensidad de la carga de viento, en nuestro país es aplicable la norma *UNIT 50-84: Acción del viento sobre las construcciones*, la cual establece el procedimiento a seguir para determinar la intensidad de la carga de viento en función de diferentes factores, como rugosidad del terreno, altura, grado de seguridad requerido, ubicación geográfica, características topográficas, etcétera, y los coeficientes de seguridad aplicables. Esta norma es del año 1984. No corresponde analizar en este artículo si dicha norma contempla la realidad actual de los vientos en nuestro país.

Si bien prácticamente no existen limitaciones al diseño —ya que es posible construir prácticamente cualquier proyecto—, las decisiones que adopte el proyectista tendrán marcada incidencia en la resolución y complejidad de la

1. Las siglas responden a las denominaciones en inglés *Allowable Stress Design* y *Load and Resistance Factor Design*, respectivamente.

estructura resistente del edificio, así como en la economía de la construcción y el riesgo de aparición de patologías.

En este sentido, el uso de ventaneos con grandes luces, la desmaterialización de las esquinas, que elimina zonas comprometidas estructuralmente, o la múltiple altura de cerramientos, que produce perfiles de doble o mayor altura y genera un aumento de sus secciones, originan complejidades en las estructuras y aumento de la cuantía de acero del edificio, lo que incrementa el valor de la obra.

En el otro extremo de las posibilidades proyectuales, las formas compactas, la eliminación de grandes ventaneos, sustituyéndolos por aberturas de menor dimensión, agrupadas, y la materialización de la esquina ciega son elecciones más favorables para resistir las acciones provocadas por el viento, con la correspondiente simplificación de la estructura y, por ende, una disminución de los costos de obra.

Cabe acotar que todos los conceptos anteriores son aplicables a cualquier sistema constructivo.

Ahora bien, ¿por qué es necesario agregar elementos de arriostramiento a las estructuras de *Steel Framing*? Las uniones de los elementos estructurales —entre montantes y soleras de muros o entre vigas y cenefas en el caso de entrepisos y cubiertas—, conectados por tornillos apropiados, permiten el giro en la conexión, generando que toda la estructura se deforme en presencia de cargas laterales. Las uniones se consideran articuladas, por lo que no permiten tomar momentos flectores.

Es necesario, entonces, que, frente a la aparición de cargas laterales, como la carga de viento, la estructura cuente con elementos de arriostramiento a fin de mantener la deformación dentro de los límites preestablecidos (fig. 1).

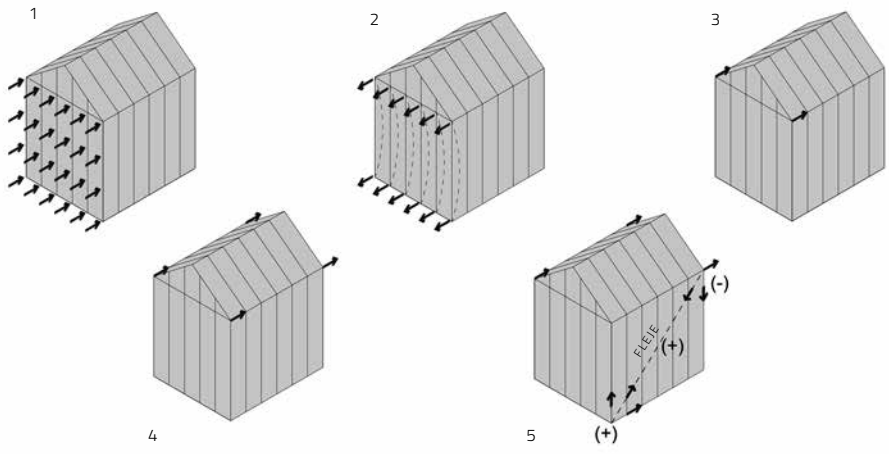


FIGURA 1. ACCIONES PROVOCADAS POR LA CARGA DE VIENTO. FUENTE: *MANUAL IUCOSE* (2017, P.75).

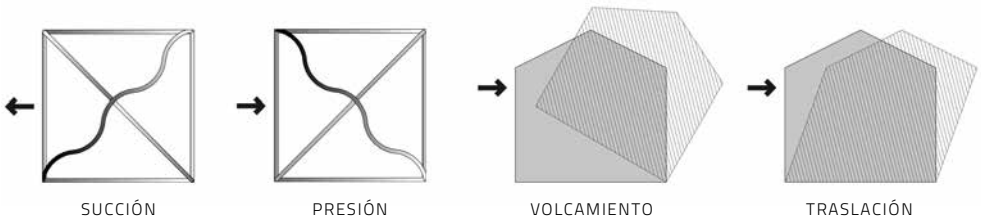


FIGURA 2. ARRIOSTRAMIENTO LATERAL DE LA ESTRUCTURA. FUENTE: *MANUAL IUCOSE* (2017, P.73).

También debe diseñarse adecuadamente la forma de vinculación de la edificación a la fundación: tipo, cantidad y ubicación de conectores y anclajes, cantidad de tornillos que aseguren la trasmisión de esfuerzos de un elemento a otro, etcétera.

El arriostramiento lateral de la estructura puede lograrse mediante cruces de San Andrés o diafragmas de rigidización. Ambos elementos son parte componente de la estructura.

Las cruces de San Andrés consisten en flejes metálicos, cuyo ancho y calibre se determinan según cálculo estructural, vinculados a la estructura en determinados puntos fijos y singulares, generalmente, a través de piezas compuestas. Frente a la acción de cargas laterales, trabajando a la tracción, mantendrán la estructura dentro de deformaciones controladas, sin superar los límites admitidos en el cálculo estructural.

Es imprescindible, para su correcto funcionamiento, que los flejes se dispongan perfectamente tensados al fijarlos a la estructura. De este modo, actuarán inmediatamente actúen las cargas laterales. En caso de que los flejes se encuentren flojos, permitirán un desplazamiento de la estructura en tanto los mismos lleguen a tensarse. Este desplazamiento seguramente generará patologías en distintos componentes del sistema como, por ejemplo, fisuración en los emplacados de terminación interior y exterior.

Además de los flejes, la solución requiere de elementos de fijación —tornillos en tipo y cantidad según cálculo— para la correcta vinculación entre los flejes y la estructura. En general, es necesaria la incorporación de cartelas metálicas, de manera de contar con mayor área en la zona de transmisión de esfuerzos, posibilitando la colocación de mayor cantidad de fijaciones.

Los diafragmas de rigidización son paneles que aportan rigidez al plano frente a la acción de cargas laterales. Cumplen esta función estructural los paneles de madera multilaminada o del tipo Oriented Strand Board [OSB], ambos fabricados con colas fenólicas resistentes a la humedad, que son fijados lateralmente a los paneles que conforman la estructura metálica de la construcción, generando un plano rígido lateral capaz de tomar las cargas laterales de viento.

La capacidad resistente de esta solución estará dada no solo por la capacidad de carga del propio diafragma, obviamente, sino por el tipo y separación

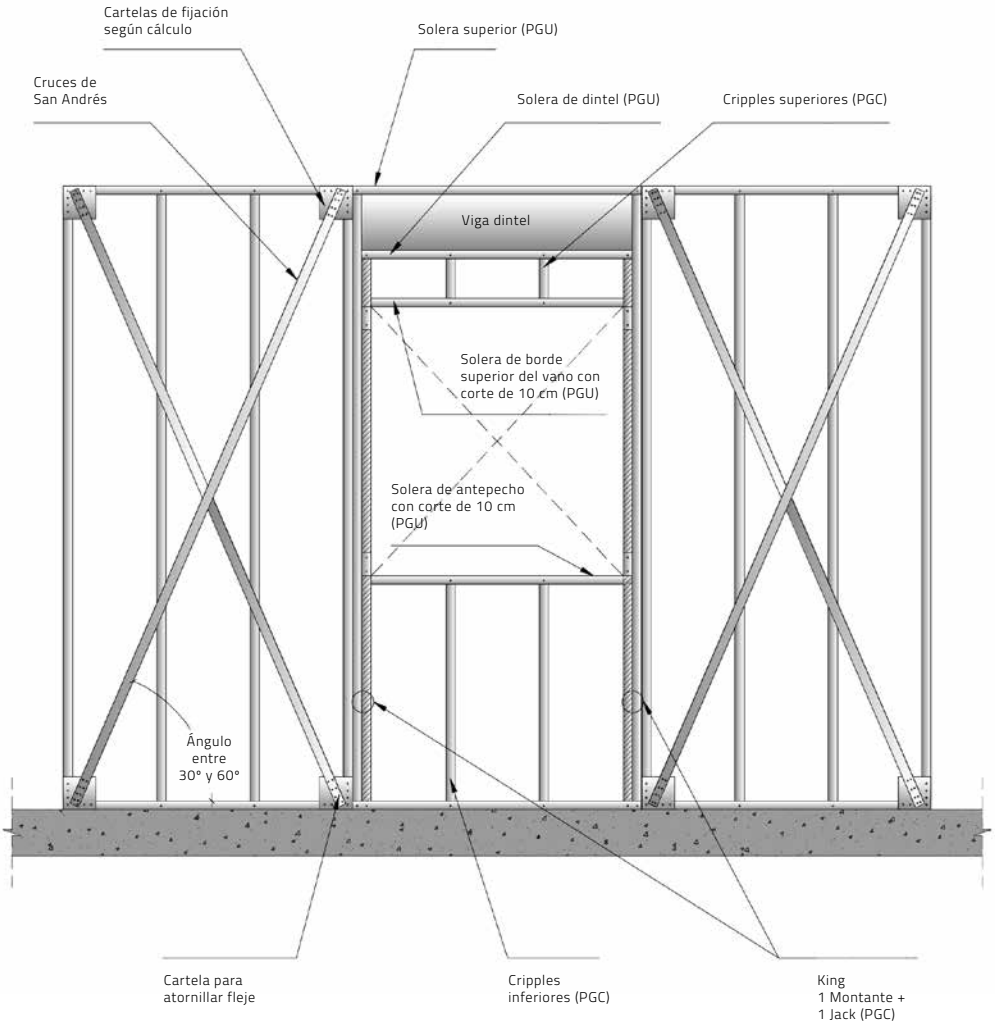


FIGURA 3. ARRIOSTRAMIENTO LATERAL MEDIANTE CRUCES DE SAN ANDRÉS.
FUENTE: *MANUAL IUCOSE* (2017, P.134).

de tornillos de fijación del diafragma, la ubicación y tamaño de los vanos, entre otros factores.

Además de dotar a la estructura del arriostramiento lateral indicado, estos diafragmas ofician de sustrato para la colocación de las capas exteriores del cerramiento, como barrera de agua y viento, aislamientos exteriores a la estructura, capas de terminación exterior, etcétera, constituyéndose en una solución muy adoptada en nuestro medio para la conformación de muros exteriores.

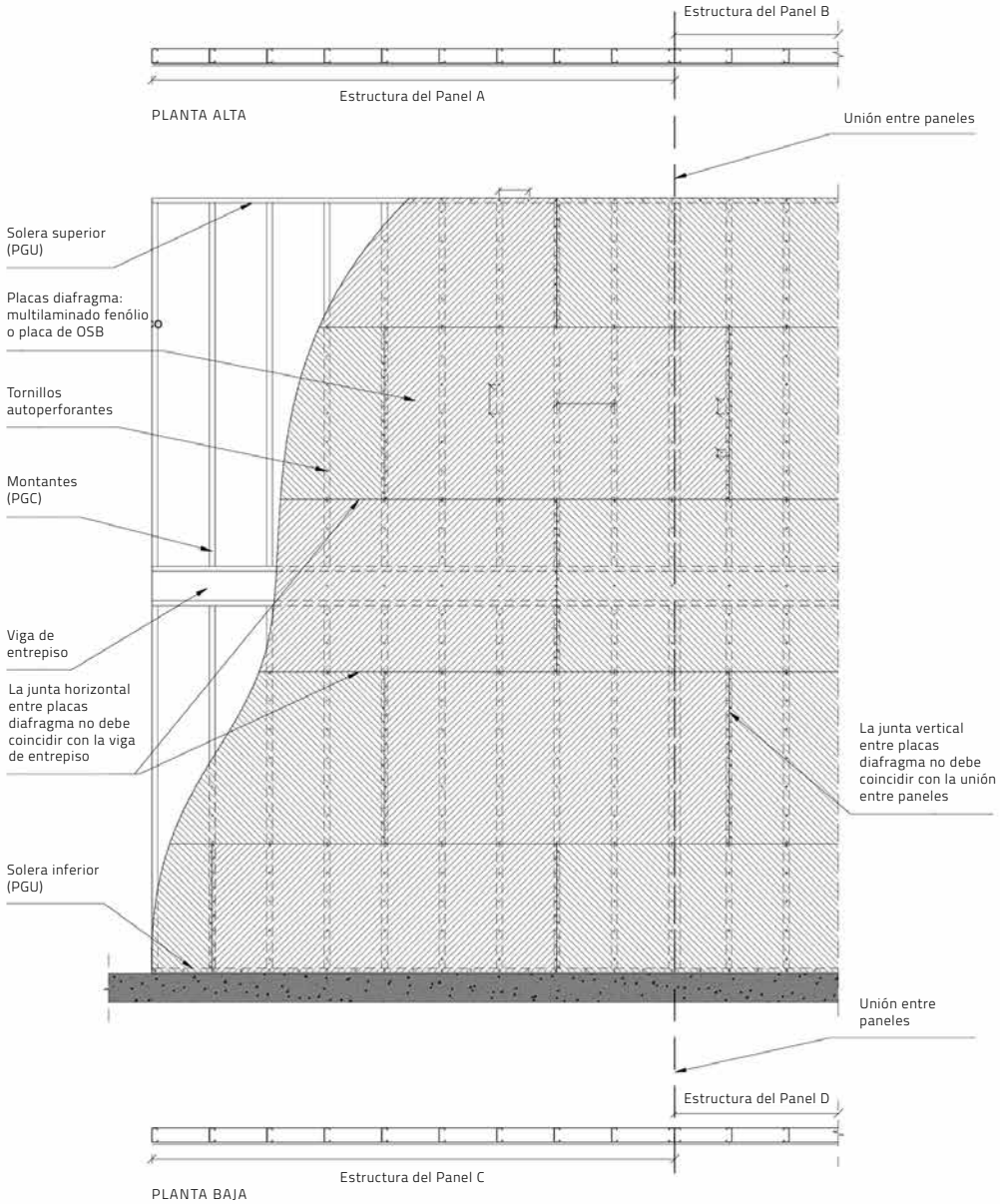


FIGURA 4. ARRIOSTRAMIENTO LATERAL MEDIANTE DIAFRAGMAS DE RIGIDIZACIÓN.
FUENTE: *MANUAL IUCOSE* (2017, P. 137)

CARGAS GRAVITATORIAS

Existen cargas gravitatorias, es decir, originadas por la fuerza de gravedad: se dividen en cargas permanentes y cargas de uso.

CARGAS PERMANENTES D *(DEAD)*

Están conformadas por el peso propio de todos los materiales de construcción que forman parte del edificio: estructuras, emplacados, aislantes, elementos de terminación, revestimientos, aberturas, etcétera.

A los efectos de determinar las cargas permanentes se contabilizan todos los componentes que actúan por unidad de superficie. Los proveedores de cada uno de los insumos podrán brindar la información necesaria para su determinación. Los siguientes valores son solo referenciales:

TABLA 1. PESO PROPIO DE LOS MATERIALES

PGC 90 x 0.90	1,38 kg/m
PGC 100 x 0.90	1,45 kg/m
PGC 150 x 0.90	1,89 kg/m
PGU 90 x 0.90	1,13 kg/m
PGU 100 x 0.90	1,2 kg/m
PGU 150 x 0.90	1,52 kg/m
PGO 37 x 0.90	0,99 kg/m
Placa de yeso estándar 12.5 mm	8,9 kg/m^2
Placa de yeso estándar 15 mm	10,7 kg/m^2
Placa cementicia 6 mm	9,7 kg/m^2
Placa cementicia 8 mm	13,2 kg/m^2
Placa cementicia 10 mm	16 kg/m^2
Placa cementicia 15 mm	24 kg/m^2
Placa fenólica u OSB espesor 10 mm	9 kg/m^2
Chapa de acero sinusoidal, espesor 0,52 mm	5,6 kg/m^2
Teja cerámica	45 kg/m^2
Lana de vidrio	5 kg/m^2
EPS (poliestireno expandido)	2 kg/m^2

FUENTE: *MANUAL IUCOSE* (2017, P. 67)

CARGAS DE USO L *(LIVE)*

Están ocasionadas por el uso del edificio. En nuestro medio, para la determinación de la sobrecarga de uso en función de la actividad prevista a desarrollar en cada ambiente, se aplica la norma *UNIT 33-91*.

En cubiertas, la sobrecarga de uso debe prever las cargas generadas durante tareas de mantenimiento, como personal, equipamiento, materiales actuando sobre la cubierta del edificio, así como situaciones particulares —por ejemplo, la

acumulación de agua sobre la superficie de la cubierta, provocada por la obstrucción del desagüe—.

Las cargas verticales actúan bajo la acción de la gravedad descargando a través del alma de los perfiles, los que constituyen el camino material para la trasmisión de las cargas.

La descarga axial implica la coincidencia de almas de todos los elementos que componen la estructura desde la cubierta hasta la fundación: montantes, vigas de entrepisos, cabriadas, etcétera. Esto constituye lo que corrientemente se denomina «alma con alma», o *in line framing*.

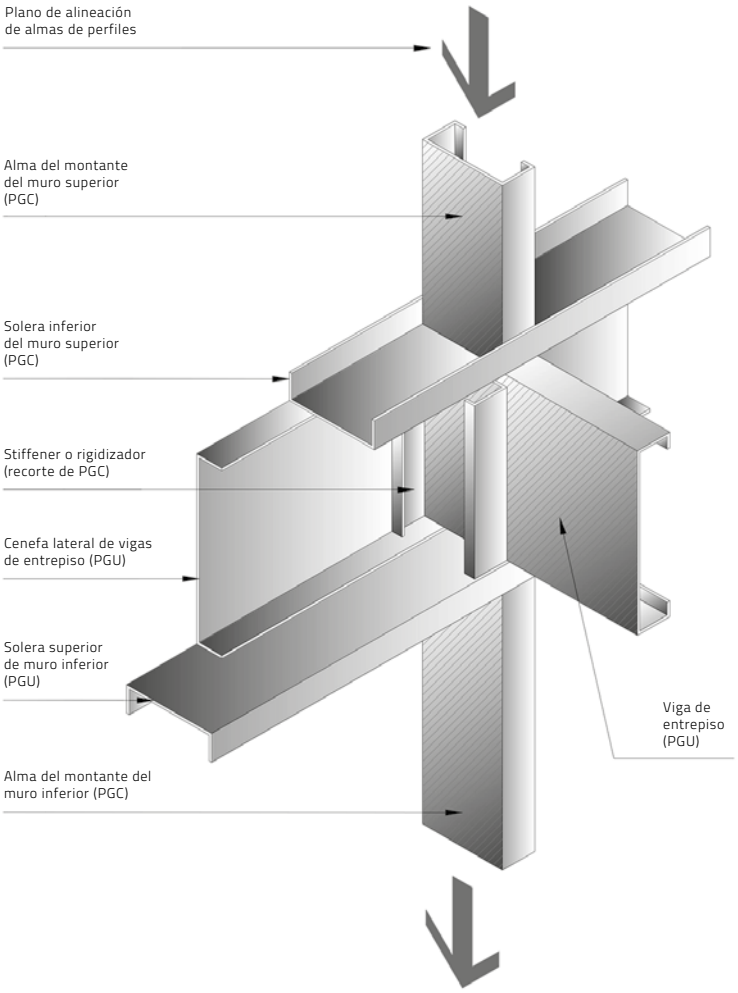


FIGURA 5. *IN LINE FRAMING.* FUENTE: *MANUAL IUCOSE* (2017, P.72)

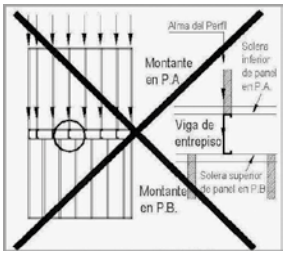


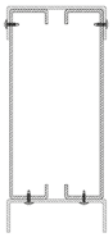
FIGURA 6. INCORRECTA RESOLUCIÓN DE LA TRASMISIÓN DE CARGAS. FALTA DE ALINEACIÓN DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES. FUENTE: *MANUAL DE PROCEDIMIENTO* (2015, P.59)

La cubierta, materializada mediante vigas PGC —cubierta plana— o cabriadas —cubierta inclinada de gran pendiente—, descarga sobre el muro de planta alta aplicando el concepto precedente. Del mismo modo, los muros de planta alta y los entrepisos descargan alineados con los montantes de los muros del piso inferior, los cuales transmiten la carga a la fundación en forma directa. La estructura debe poseer sus elementos alineados para no producir excentricidades.

Los perfiles PGU, que conforman superior e inferiormente los paneles, tienen únicamente una función constructiva y es la de mantener los montantes en su posición correcta. Por lo tanto, no son aptos para tomar cargas.

Cuando por razones de proyecto no coincidan las modulaciones entre los distintos elementos —por ejemplo, entre espaciado de cabriadas de cubierta y espaciado de montantes del muro que las soporta—, debe disponerse una viga de repartición de cargas, también llamada viga dintel, materializada por una viga tubo, la cual deberá ser dimensionada por cálculo.

VIGA DINTEL
2 PGC + 2 PGU



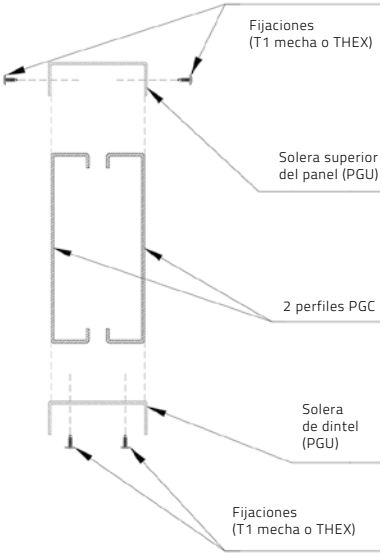


FIGURA 7. MATERIALIZACIÓN DE VIGA TUBO. FUENTE: *MANUAL IUCOSE* (2017, P.125).

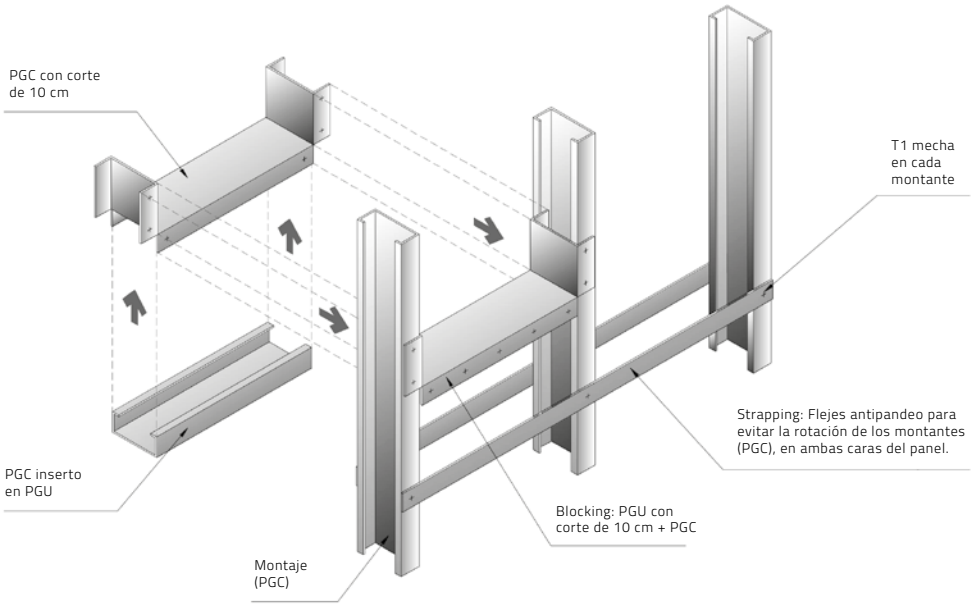


FIGURA 8. *BLOCKING* Y *STRAPPING*. FUENTE: *MANUAL IUCOSE* (2017, P.135).

ARRIOSTRAMIENTO DE LOS MONTANTES MEDIANTE *BLOCKING Y STRAPPING*

Los perfiles utilizados para la construcción de estructuras de *Steel Framing* son de sección abierta [PGC]. Estos perfiles esbeltos, sometidos a esfuerzos de compresión, sufren inestabilidad elástica —pandeo—. Es necesario colocar elementos que limiten la deformación, disminuyendo la longitud libre del perfil —longitud de pandeo—.

Para ello se disponen dos elementos al entramado de los paneles:

BLOQUEO SÓLIDO (*BLOCKING*)

Elemento tubular constituido por un perfil PGU con corte de 10 cm en ambos extremos que, con un perfil PGC inserto previamente en él, se fijará a puntos fijos de la estructura —piezas compuestas tales como montantes dobles o triples usados en el encuentro de los paneles, *kings*, etcétera—, vinculando firmemente dos perfiles montantes contiguos. Se colocará conjuntamente con el *strapping* y siempre a mitad de altura en paneles de hasta 2,60 m, o cada 1,30 m entre sí, como máximo.

FLEJE ANTIPANDEO (*STRAPPING*)

Estos elementos se materializan mediante flejes metálicos y su espaciado coincide con el de los bloqueos sólidos. El fleje metálico debe ser de acero galvanizado y su sección se determinará según cálculo. Como mínimo debe tener

30 mm de ancho y 0,90 mm de espesor. Se colocan horizontalmente en todo el largo del panel.

Los flejes utilizados para *strapping* se atornillan a todos los montantes [PGC] y se colocan en ambos lados del panel, a excepción de los paneles que en la cara externa llevan diafragma de rigidización, en cuyo caso se colocarán solo del lado interior.

Es de enorme importancia realizar una minuciosa inspección de la estructura luego de montados los paneles y colocados los elementos de fijación *in situ*, verificando que se hayan dispuesto rigurosamente todos los elementos especificados en la ingeniería del proyecto para asegurar el funcionamiento del edificio tal cual fue proyectado. Es por ello que se recomienda condicionar el avance de tareas posteriores de la obra —emplacados, colocación de aislantes, etcétera— a la aprobación de dicha etapa.

Bibliografía

Iucose. (2017). *Manual de Recomendaciones para construir con Perfiles de Acero Galvanizado Liviano Conformados en Frío (Steel Framing).* Montevideo: Iucose.

ConsulSteel. (2015) *Manual de Procedimiento. Construcción con Acero Liviano.* Buenos Aires: Consulsteel.

Terminaciones exteriores e interiores para el sistema *Steel Framing*

LÍBER TRINDADE

Técnico Constructor. Director del Centro de Capacitación Técnica y de Casa Abierta, Consultora en Sistemas Constructivos. Miembro fundador e integrante de la Comisión Directiva del Instituto Uruguayo de Construcción en Seco. Integrante del Registro Único de Peritos de la Suprema Corte de Justicia. Miembro de la Asociación de Entidades de Capacitación. Docente del Laboratorio de *Steel Framing* del Instituto de Enseñanza de la Construcción (UTU).

Nuestro mercado se destaca a nivel regional por contar con la mayor cantidad de terminaciones disponibles gracias al esfuerzo de todos los importadores y distribuidores, quienes apelan a los distintos mercados del mundo y hacen su aporte para que haya una amplia canasta de suministros con la consecuente posibilidad de elección según las características del proyecto.

Vale la pena destacar que tanto en Uruguay como en otros países donde brindamos charlas y cursos, como Argentina, Paraguay, Perú y Brasil, siempre hay una pregunta recurrente y es si el sistema no se termina siempre con placa cementicia. Y si bien es cierto que es una de las alternativas, no es imperativo su uso exclusivo. El conocimiento extendido que se tiene de ella responde a que sus fabricantes han tenido durante años una presencia fuerte en los distintos mercados, colaborando mucho en la difusión del sistema, sumado al arraigo que tiene el cemento en nuestra cultura.

La tendencia mundial de trabajar con parámetros de eficiencia energética hace necesaria la búsqueda de productos que cumplan ese cometido. En Argentina, por ejemplo, hace más de un año que se está elaborando un etiquetado energético, análogo al de los electrodomésticos, desde la «A» a la «G», buscando construir, en la medida de lo posible, con un sistema y complementos que puedan acceder a un etiquetado «A». Lo mismo podemos observar cuando recorremos alguna ciudad europea y en las vidrieras de las inmobiliarias se promocionan las viviendas para la venta o alquiler acompañadas de su metraje, características, precio, etiquetado energético y consumo mensual estimado

en kilovatios. Por eso es importante comprender todos estos fenómenos que se van dando, para comenzar a hablar de opciones de acabado, atendiendo a los beneficios y las debilidades de cada producto.

También hay que hacer el estudio con un diseño adecuado a la zona climática donde se establecerá la construcción y comprender la necesidad de elegir un sistema que contemple la amplitud térmica característica de cada geografía. En nuestro país, por ejemplo, con mínimas históricas de -8 °C en zonas del departamento de Soriano y tórridos veranos con 46 °C en Salto —y mayor sensación térmica—, se configura una realidad muy distinta a la que se vive en la ciudad de Lima, con temperaturas que oscilan entre los 15 °C, las mínimas, y 27 °C, las máximas, además de una escasa incidencia del sol, con un cielo encapotado durante varios meses y ausencia de lluvias durante todo el año.

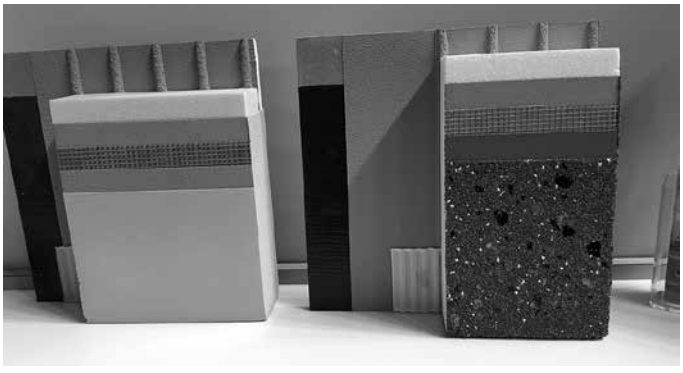
A su vez, no podemos dejar de considerar, a la hora de elegir las terminaciones, las características que tienen los perfiles de acero galvanizado. En este caso, su capacidad de conductividad térmica es una condición que impone atender tanto al frío como al calor con elementos que mitiguen sus efectos desde el exterior. Si nuestra elección exterior no contempla un elemento aislante que aumente la resistencia térmica, como el poliestireno expandido [EPS] o el poliestireno extruido [XPS], los efectos de la transmitancia se harán muy notorios en el interior de la vivienda más allá de los aislantes que coloquemos en el interior del tabique.

Componentes del sistema

Ahora, antes de entrar de lleno en las terminaciones, no nos podemos olvidar de los componentes que ya deben estar presentes. Primero, la estructura de perfiles de acero galvanizado liviano, con el espesor estipulado por el cálculo estructural. Sobre ellos, un diafragma de rigidización factible de hacerse con placas de OSB estructural, que vienen en un formato de 2,44 m x 1,22 m y espesor mínimo de 11,1 mm. Aquí, en general, se comercializan de la marca LP y son fabricadas en la ciudad de Ponta Grossa, a unos cien kilómetros de Curitiba. Para el mercado local brasileño, estas placas se comercializan de 2,40 m x 1,20 m, lo que resulta ideal para seguir la modulación de las placas de yeso. También se puede optar, como material para el diafragma de rigidización, por las placas fenólicas multilaminadas fabricadas en Uruguay por la empresa Lumin y exportadas a varios mercados.[1] En este caso el formato también es de 2,44 m x 1,22 m, pero el espesor mínimo es de 12,5 mm.

Estas placas nos brindan un soporte ideal tanto para la barrera de agua y viento como para las distintas capas de terminación, además de constituir una capa de protección que es ensayada a nivel de impactos. Su diseño determina que deben estar protegidas y eso lo logramos con la aplicación de una barrera de agua y viento que a su vez permita la salida del vapor potencialmente presente en el tabique. Tal vez el producto más visto en nuestro país sea el Tyvek,

1. La planta industrial de la empresa Lumin se encuentra en la ruta 5, km 400,5 (Paso del Manco, Tacuarembó).



producido por la empresa Dupont, que se presenta en dos formatos. Uno de ellos se puede utilizar tanto en paredes como techos, viene de 1 m de ancho x 30 m de largo y se fabrica en Luxemburgo bajo normas de la Unión Europea. El otro formato es únicamente para pared, viene de Estados Unidos en rollos de 2,75 m de ancho x 45 m de largo y ofrece variantes en los micrones de espesor. Estos productos se colocan con grampas y presentan complementos como la cinta Tyvek, para pegar su solapado, y el Flex wrap, membrana elástica que nos posibilita un correcto sellado, por ejemplo, en los antepechos.

En la plaza se comercializan pinturas acrílicas importadas que cumplen con la función de barrera de agua y viento y son permeables al vapor. Sobre ellas se pueden pegar de manera directa las placas de EPS con el mortero cementicio Base Coat mediante el calibrado con una llana dentada, generando canales para drenar agua de condensación.

Opciones de terminación

A partir de este punto, una vez solucionadas la rigidización y su protección —lo que incluye haber verificado, también, su continuidad y sus correctos sellados—, nos podremos dedicar a la aplicación de las terminaciones en sí.

Por tanto, si estamos considerando un proyecto para instalar en nuestro país, no cabe duda de que le debemos incorporar un elemento aislante, por lo que el sistema Exterior Insulation & Finish System [EIFS][2] se presenta como la opción ideal. Este consiste en la aplicación de placas de EPS de alta densidad tipo III, de 4 cm de espesor, que se sujetan con tornillos y arandelas especiales

y se recubren con Base Coat, un mortero hecho con arena, cemento y polímeros que le confieren flexibilidad y lo convierten en impermeable. Para evitar la fisuración entre placas y otorgarle resistencia se aplica una malla de fibra de vidrio, que no debe ser inferior a los 145 g/m^2, solapada entre sí por lo menos 10 cm. Es recomendable una doble malla en la segunda mano y una tercera mano de terminación, la que irá prolijamente fratasada. Luego de 48 horas de secado puede recibir una pintura exterior o la aplicación de una textura. De esta manera logramos una solución muy eficiente para romper los puentes térmicos, con un bajo costo de materiales y de muy bajo peso, ya que el producto solo agrega unos 6 kg/m^2 con todas sus capas terminadas.

Los fabricantes que promueven este sistema, quienes nos invitaron amablemente a la ciudad de Atlanta, donde visitamos una de sus fábricas, se agrupan en la EIFS Industry Members Association [EIMA] y es interesante visitar su sitio *web*, en el que se pueden ver vídeos donde buscan educar a los propietarios en la elección del EIFS.

Haciendo un poco de historia, recuerdo que ya en el año 1994 usaba en mis obras este sistema, llamado por entonces «escudo térmico», que aplicábamos directamente sobre los ticholos de los muros exteriores, colocando un cordón de arena voladora con cemento Pórtland, más Bromplast 4 como aditivo, para adherir las placas al muro. Sobre las placas de EPS de 4 cm, con el mismo mortero hacíamos el mismo procedimiento que hoy efectuamos para aplicar el Base Coat, agregándole el *balai* de la firma Bulldog. En la actualidad, esta misma técnica se aplicó para la terminación de la fachada del local de Renner en el *shopping* de Punta Carretas, corrigiendo incluso el gran desplome que tenía la construcción. No me cabe duda de que este tipo de solución se debió masificar muchísimo más durante todos estos años, mejorando también la calidad de la aislación de las viviendas construidas con sistemas tradicionales.

Continuando en la línea de los sistemas tradicionales, un acabado que también puede incorporarse a las obras de *Steel Framing* es un recubrimiento de toda la construcción con ladrillos bolseados o de junta vista, interponiendo, entre la barrera de agua y viento y el ladrillo, placas de EPS con un espesor mínimo de 2,5 cm. Este tipo de terminación confiere una estética habitual con todas las ventajas de un sistema eficiente y se ajusta particularmente a fachadas que, por su alto tránsito, necesitan de una protección mecánica más resistente que la del EIFS.

El sistema de aplicación directa Direct Applied Finish System [DAFS] posee una gran resistencia al impacto. Se usa especialmente para paredes sometidas a zonas expuestas, como circulaciones, sin resignar su aspecto elegante, aunque quedamos limitados por la aislación que hayamos puesto en el interior del muro entre montantes. Como base del DAFS hoy se comercializan varias placas. La más conocida popularmente es la Superboard, de bordes rectos, con una dimensión de 2,40 m x 1,20 m y un espesor mínimo recomendado de 10 mm.

Dentro de las placas cementicias también lograron entrar con éxito a nuestro mercado las placas conocidas como PermaBase de México, con un

núcleo de cemento aligerado con perlitas de poliestireno entre dos capas de fibra de vidrio que las envuelven, cantos recubiertos por tecnología Edgetech y un refuerzo de malla geotextil que evita que la placa se rompa al atornillarse.

Con características similares, se ha comercializado también la placa Durock de la empresa USG, con un núcleo de cemento igualmente aligerado. Aquí hacemos la mención de que la plaza también va teniendo cambios de marcas, producto de las fusiones, como en el caso de USG, comprada por la empresa Knauf en una operación que se terminó de concretar este año. Por este motivo, la empresa Knauf ha presentado en los últimos meses su producto Aquapanel. Esta placa se compone de un alma de cemento Pórtland con aditivos y material aligerante. Sus caras están recubiertas con una malla de fibra de vidrio que se extiende sobre sus bordes para reforzarlos. Es incombustible, estable y ligera, y no se ablanda ni se pudre con el agua.

Placas de yeso para exteriores y *siding*

Pero también, en esta búsqueda de lanzar nuevos productos y posicionarse en el mercado, desde distintos lugares han llegado las placas de yeso para exteriores, compitiendo tanto por su bajo peso como por su fácil cortado con trincheta.

Siempre supimos que las placas de yeso se debían usar en los interiores. Incluso debían colocarse una vez que la obra estuviese cerrada, ya que su recubrimiento de papel celulósico no podía quedar expuesto al agua, ni siquiera en el caso de aquellas placas verdes resistentes a la humedad [RH] que se vendían para su colocación en baños. Pero los fabricantes han logrado un producto con un núcleo reforzado e hidrófugo que sustituye su papel de recubrimiento por fibra de vidrio, lo que hace que estas placas puedan ser colocadas al exterior y tratadas posteriormente de manera similar a la placa cementicia. También pueden usarse en ambientes interiores con alto nivel de humedad como podría ser el caso de un club deportivo en sus zonas de vestuarios o piscinas.

En estos temas hay que analizar los productos desde varias perspectivas: la del calculista, que está considerando menos peso sobre la estructura; la del transportista, que también lleva menos peso; la del instalador, que se fatiga menos gracias a la liviandad de las placas y la facilidad de corte, factores que además permiten acelerar mucho el proceso de colocación.

Estas placas de yeso para exteriores también se usan como base, luego de sellar sus juntas, para recibir sistema EIFS, especialmente cuando los paneles de *Steel Framing* se usan como sistema mixto, para cerramientos de fachadas en edificios con estructura de hormigón armado. Ya hay varios ejemplos de esta técnica en Montevideo, con distintos acabados, tanto en hoteles como en edificios construidos y promovidos por la Agencia Nacional de Vivienda.

También hay una variedad interesante de opciones dentro de la línea de revestimientos exteriores tipo *siding*, con la ventaja de su rápida instalación y previsibilidad en la terminación final, ya que solo depende de una prolija ins-

talación. Entre ellos se encuentra el *siding* vinílico, por ejemplo, que se comercializa en distintos colores y trae una serie de complementos como los esquineros y ángulos de cierre. No necesita mantenimiento y soporta muy bien los rayos UV. Es de uso común en Estados Unidos y también tiene muy buena aceptación en nuestro medio.

El *siding* de placa cementicia tal vez sea el más conocido. Viene con un acabado en imitación madera, puede colocarse traslapado y llevar como terminación un protector de maderas en una tonalidad a elección para lograr una estética de alto destaque. Hemos comprobado que se vende muy bien en nuestro mercado. También hay fabricantes que entregan el producto pintado, listo para usar y en varias opciones. La tabla que más se comercializa tiene una dimensión de 3,6 m de largo x 0,20 m de ancho y espesores de 6 u 8 mm. Otro producto que se usa bastante y tiene muy buen rendimiento con respecto a la mano de obra es el Smart Side. Se trata de unas placas que vienen prepintadas a modo de protección, con una dimensión de 2,44 m x 1,22 m. Se construyen con un OSB de características especiales para soportar el exterior, aunque en el proceso de colocación siempre se debe aplicar una pintura de protección en las zonas donde realizamos los cortes. En el final de obra se pinta toda la superficie con un color a elección. Estos tableros se presentan con un ranurado de 10 o 20 cm de separación y sus encastres longitudinales permiten disimular muy bien la unión, que pasa desapercibida.

Lo concreto es que todos los mercados mundiales evolucionan. También las concepciones estéticas a nivel local se han transformado y se aceptan distintas propuestas. Hoy es habitual encontrar construcciones en barrios privados terminadas con chapas de canal común, trapezoidales, en distintos colores y orientadas tanto en forma horizontal como vertical. Ya no se concibe el uso de la chapa solo como elemento de cubierta.

Hay mercados con mucha capacidad de innovación, como el turco, desde donde nos llegan distintas placas de EPS con terminación en imitación ladrillo visto o piedra, prontas para colocar o, también, para aplicar un color final, con lo que se gana en velocidad de instalación.

Hasta aquí, una pequeña muestra de algunas de las opciones que podemos usar. Ahora bien, lo más importante es analizar el proyecto, complementar algunos de estos productos con una aislación por debajo de la placa final, en especial

en aquellos que admitan dilataciones sin problema, y con eso mejorar la globalidad de la aislación desde afuera hacia adentro.

Este aspecto ha sido bien resuelto en Estados Unidos, con placas de EPS que ya se comercializan con guías incrustadas de plástico al modo de alfajías para que se claven o atornillen en ellas las terminaciones exteriores, evitando el agregado de elementos que puedan deteriorarse o generen otro puente térmico. La idea de este artículo ha sido la de relevar los distintos productos que se encuentran a nuestra disposición en el mercado local. Entrando a los catálogos de cada producto a través de sus sitios en línea se podrá ver más en profundidad su forma de colocación, ya que incluso entre placas de la misma familia varían aspectos, como la cantidad de tornillos que debe recibir cada una. También allí veremos su correcta forma de estibado, de traslado y de tratamiento de juntas.

Terminaciones interiores

Antes de ahondar en las terminaciones interiores es imprescindible advertir sobre la necesidad de algunos controles previos. Es preciso que se haya verificado la colocación total de las instalaciones —sanitaria, eléctrica, aire acondicionado, así como todo otro ducto previsto en el proyecto— además de aquellos refuerzos concretos destinados a recibir cargas puntuales como puede ser la colocación de un termotanque o los muebles aéreos de cocina. Luego se debe realizar la colocación del aislante termoacústico. Los más comunes en nuestro mercado son la lana de vidrio y la de roca, el poliéster lana [PET] y la celulosa proyectada. Como aislante central se debe evitar cualquier elemento que sea afectado por el fuego, como el EPS, que es de difícil manipulación para la colocación de instalaciones. Asimismo, debe verificarse que en su fabricación se hayan colocado aditivos retardantes de llama que reducen considerablemente la propagación del fuego.

Los productos anteriormente mencionados poseen distintas características, pero lo que tienen en común es que no permiten la propagación de llama ni la emanación de humos negros, muy peligrosos. Sin duda, cada uno de ellos reacciona de forma muy distinta a la presencia de llama, pero cumplen con las normas de fabricación.

Como penúltima etapa, colocamos en todos los paneles que dan hacia el exterior una barrera de vapor, de polietileno de 200 µm, que evite que el vapor entre en contacto con la estructura. Especialmente si sabemos que no contemplamos una aislación exterior suficiente, pues esto generará una condensación en el interior de nuestro panel.

Llegando a nuestra etapa final interior, habremos elegido una placa de yeso de acuerdo a las características de cada ambiente. En los secos usaremos placas blancas, comunes, para las paredes y los cielorrasos. En el caso de baños, cocinas y lavaderos usaremos las RH, sobre las que colocaremos los revestimientos cerámicos. No olvidemos que estas placas están recubiertas por dos láminas de papel y que no pueden estar en contacto con el agua.

Según los ensayos de fuego realizados en tabiques, estas placas pueden soportar durante 30 minutos los efectos de la llama, tiempo que puede extenderse a 60 minutos si usamos placas rojas resistentes al fuego [RF] y a 120 minutos si se coloca doble RF siempre y cuando no haya coincidencia en las juntas de ambas, posicionándolas trabadas y con sus encuentros desfasados.

También el doble aplacado se usará a la hora de mejorar aspectos acústicos. En este sentido y contrariamente a lo que muchos piensan, un tabique simple tiene muy buen desempeño en comparación con un tabique de mampostería. Si se coloca una segunda placa el desempeño será incluso mejor, además de ocupar menos espacio y reducir peso en comparación a otro tipo de muro.

Para mejorar aún más la acústica se han desarrollado placas especiales, como la placa Phonique de la empresa Placo, que gracias a su densidad nos brindan 3 dB más de aislación con un espesor equivalente al de las comunes.

Para todos los casos hay que tener en cuenta la aplicación de selladores acústicos contra el piso, donde debemos dejar las placas retiradas para evitar la capilaridad. También hay que evitar colocar cajas de luz en ambientes contiguos, que queden «espalda con espalda». Muchas veces los instaladores, para ganar tiempo, juntan cajas y esto produce un punto débil tanto en relación a la acústica como al fuego.

La oferta de placas de yeso se sigue ampliando también para interiores, con productos especiales como placas para salas de rayos X, placas alivianadas para cielorrasos y placas para colocar en espacios semicubiertos.

Por otro lado, frente al discurso de que las placas de yeso se rompen con cualquier golpe, contamos con las de alto impacto, como las Habito desarrolladas por Placo. Las de este tipo toleran grandes golpes una y otra vez sin ser afectadas y sobre ellas se puede colocar en forma directa un tornillo que soportará una carga de 35 kg y hasta de 50 kg en el caso de un doble aplacado, lo que las hace muy aptas para corredores, espacios deportivos y salones de clase.

Por último, quiero exponer la importancia de la colocación de las placas de yeso como elemento ignífugo, ya que brindan al usuario el tiempo necesario para una correcta evacuación de los locales y esto permite obtener financiación bancaria para los proyectos de *Steel Framing* por ser un sistema seguro. Las aseguradoras, a la hora de la valoración de riesgo de estas propiedades, no hacen objeciones y los bancos, entonces, ofrecen un crédito igual al que se otorga para una construcción tradicional. De aquí también la importancia de usar elementos que refuercen la credibilidad sobre el sistema y usar componentes que cumplan con las expectativas que cada elemento debe brindar, evitando la incorporación, por ejemplo, de elementos que sean afectados por las llamas.

Así pues, no quedan dudas de que el término «construcción tradicional» parece estar cada vez más cerca de aplicarse también al *Steel Framing*, un sistema tradicional de los países que lo han implementado por décadas.

Características y limitantes de la impresión 3D como método de fabricación digital

FABRICIO LEYTON

Formado en Diseño Industrial (EUCD) y en Artes Plásticas (IenBA). Exdocente EUCD del área tecnológica Procesos Productivos y Fabricación Digital. Investigador en áreas de Fabricación Digital y Accesibilidad. Responsable académico de proyectos de investigación ANII. Cocreador del espacio de Investigación y Extensión HackLab EUCD y encargado de diversos proyectos de extensión. Profesional en diseño, orientado a Fabricación digital y Desarrollo sustentable.

Este artículo está basado en una investigación, realizada en el marco del llamado interno a Proyectos de Iniciación a la Investigación de FADU en 2014, titulada *Estudio y caracterización de las variables que afectan a la impresión 3D en la generación de objetos manipulables*. El objetivo general de la misma fue analizar y detallar las variables técnicas que afectan a la impresión 3D en plástico por deposición de filamento como método de fabricación digital.

Por tratarse de una tecnología relativamente nueva resulta importante hacer un inciso especial para contextualizar lo que comúnmente se conoce como «fabricación digital» y lo que realmente engloba el término.

Dentro del término «fabricación digital» se reúnen distintas técnicas industriales que tienen como denominador común el hecho de que la herramienta que produce el proceso es manejada por motores y un comando Computer Aided Manufacturing [CAM] y no por un operario. Dentro de este enorme paraguas tenemos dos grandes categorías: la fabricación sustractiva [FS] —técnica que se basa en restar material a una pieza inicial a través de distintos procesos como perforado, fresado, corte, etc.— como puede ser el sistema de corte Control Numérico Computarizado [CNC] y la fabricación aditiva [FA] —basa su funcionamiento en la adición de material para conformar una nueva pieza— como es la impresión 3D.

Dentro del campo de la impresión 3D tenemos, a su vez, múltiples métodos, pero en nuestro país, actualmente, solo se cuenta con cuatro o cinco. Internacionalmente superan la veintena.

Por otro lado, es importante también destacar cómo, según la etapa de maduración de la técnica, esta es usada en los distintos estadios del ciclo de vida de un producto.

Lo que permitió que la cerámica dejara de ser una tecnología histórica, rústica y sencilla para ser parte de los componentes de alta tecnología que mandamos al espacio es simplemente la evolución de las técnicas y métodos asociados a la misma.

Toda tecnología requiere de un tiempo para madurar y en ese lapso temporal los campos de aplicación van cambiando y evolucionando. Por lo general se pasa de espacios tecnológicos accesibles a muchas personas y aplicaciones poco demandantes de especialización a espacios cada vez más complejos y menos accesibles, donde los conocimientos y métodos aplicados son manejados por personas con alta especialización.

Es así que el camino evolutivo de las tecnologías de fabricación digital sigue un derrotero similar al de las distintas tecnologías de fabricación de objetos, aunque en este caso es particularmente acelerado y pasa de un uso muy básico como es la fabricación de maquetas a usos más elaborados como son los prototipos funcionales, accesorios de producción como moldes, hasta llegar a uno más complejo como es la realización de productos finales.

Esto último requiere un conocimiento técnico más específico, que permita planificar productos funcionales y técnicamente consistentes. En este marco es que surge la necesidad de llevar a cabo esta investigación.

Impresión 3D mediante extrusión de material

El proceso de impresión 3D mediante deposición de material extruido presenta características singulares que afectan directamente sus capacidades de generación de objetos, así como las características físicas y formales que estos pueden tomar.

Al mismo tiempo, es una tipología de procesos aplicable a un enorme espectro de industrias, cambiando escalas y materiales. La deposición de material extruido se puede aplicar a escala nano para la fabricación de baterías o a escala mega para la fabricación de casas, pasando por la impresión biológica de órganos o comida.

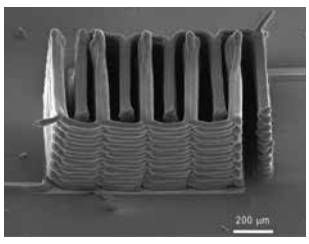


FIGURA 1. A RESEARCH TEAM FROM HARVARD UNIVERSITY AND THE UNIVERSITY OF ILLINOIS AT URBANA-CHAMPAIGN HAS DEMONSTRATED THE ABILITY TO 3D PRINT A BATTERY. THIS IMAGE SHOWS THE INTERLACED STACK OF ELECTRODES THAT WERE PRINTED LAYER BY LAYER TO CREATE THE WORKING ANODE AND CATHODE OF A MICROBATTERY (SEM IMAGE COURTESY OF JENNIFER A. LEWIS). FUENTE: *PRINTING TINY BATTERIES*, HARVARD UNIVERSITY, 2013, HTTPS://WYSS.HARVARD.EDU/NEWS/PRINTING-TINY-BATTERIES/

En la actualidad, la manifestación más accesible de esta tipología la tenemos en la impresión 3D por deposición de filamento fundido [FDM] —o FFF por sus siglas—. Resultaba importante, entonces, relevar las características propias de esta técnica a fin de conocer cómo afecta a los productos impresos, cuáles son las propiedades que deben tener los objetos para poder ser producidos mediante esta modalidad y qué nuevos espacios de investigación se abren de cara al futuro. Para esto se definieron una serie de variables características del proceso y se diseñó una batería de pruebas y ensayos, de forma que fuese posible registrar y documentar los impactos de las variables principales de la impresión 3D en el objeto impreso resultante.

Dentro de las variables que afectan a los objetos impresos en 3D mediante plástico fundido podemos destacar:

- CARACTERÍSTICAS DE LA IMPRESORA
  Rango de calor, tipo de cama, tipo de extrusor, sistema de fijación, estructura de la impresora: cerrada, semi–abierta, abierta.
- *SOFTWARE*
  Tipos, parámetros generales, parámetros específicos, valores óptimos, valores forzados.
- CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES
  Construcción de la pieza 3D, limitaciones geométricas, características según forma. Características mecánicas según grosor de paredes o ángulos de impresión. Densidad de la pieza final según tipo de estructura, entre otras.
- MATERIALES DE IMPRESIÓN
  Tipos disponibles, colores, temperatura de fundición, características mecánicas y elásticas, resistencia a la rotura, entre otras.
- DIMENSIONES DEL MODELO
  Alcances de la tecnología, problemas derivados de la escala, resoluciones de impresión, entre otras.
- TERMINACIONES
  Superficiales según escala, según material, según planos de impresión, según velocidad, según temperatura. Post procesados mecánicos y químicos.
- ESTRUCTURAS AUXILIARES
  Definición, características, opciones de estructura, alternativas.

Características relacionadas a la mecánica del proceso

En términos generales, la técnica de extrusión vertical de material y deposición en movimiento «XY» capa a capa tiene varias características que deben examinarse con detenimiento de forma de evaluar cómo repercuten en el objeto impreso.

La impresión 3D por deposición de filamento se basa en la extrusión vertical de material mediante una boquilla circular, con movimientos en «XY» libres

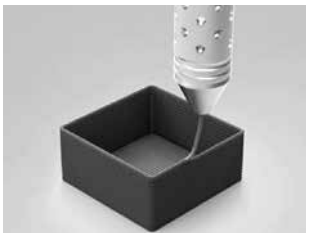


FIGURA 2. ILUSTRACIÓN DEL PROCESO DE IMPRESIÓN POR DEPOSICIÓN DE FILAMENTO. FUENTE: *LAS 4 TECNOLOGÍAS DE IMPRESIÓN 3D MÁS POPULARES DEL MERCADO* DE ROBIN PÉREZ, 2015, HTTP://TECNOIMPRE3D.COM/4-TECNOLOGIAS/

y movimientos en «Z» capa a capa. La extrusión se realiza calentando una boquilla y presionando material en forma de hilo semirígido sin fundir, obligándolo a pasar por la embocadura. En el pasaje se producirá la fundición, que será total justo antes de salir al exterior. La deposición del material se realiza sobre una superficie plana horizontal, paralela al plano «XY», que, según el tipo de material a imprimir, necesitará adquirir temperatura para ayudar a la adherencia de las primeras capas y evitar cualquier deformación de la pieza.

Características y limitantes que entran en juego en la impresión 3D por extrusión:

- RELATIVAS AL EXTRUSOR

  Diámetro de la boquilla de extrusión como medida mínima de resolución «XY» y máxima de la dimensión «Z». El extrusor funciona depositando material de forma vertical y esto caracteriza la forma de funcionamiento de la técnica. En el caso de impresión de algunos materiales, como el material plástico —caso de este estudio—, el extrusor debe levantar temperatura para fundir el material a depositar.
- RELATIVAS AL MOVIMIENTOS «XY»

  Límite o precisión dada por el método de transporte y la precisión de los motores paso a paso. Determina la dirección en la que se acumulan las distintas extrusiones de material, definiendo direcciones de mayor resistencia mecánica y resolución superficial.
- RELATIVAS AL MOVIMIENTO EN «Z»

  Es el movimiento que permite ajustar una resolución menor a la del diámetro del extrusor. Hace posible, en combinación con la velocidad de movimiento «XY» y la velocidad de avance del material, distintos tipos de extrusiones y capas.
- RELATIVAS A LA SUPERFICIE DE IMPRESIÓN

  El plano horizontal en el que se realiza la impresión tiene una influencia importante en la impresión de piezas. Determina la necesidad de generación de volúmenes accesorios como son los soportes o la cama de impresión. En muchas ocasiones, como en la impresión de material acrilonitrilo butadieno estireno [ABS], es necesario que la superficie sea calefaccionada, factor determinante a estudiar.
- RELATIVAS AL MATERIAL

  Uno de los mayores atractivos de esta técnica es la posibilidad de ser utilizada con innumerable cantidad de materiales. El material define los rangos de velocidad,

resolución y temperatura que debe tener la impresión. En este caso se trabajó con los polímeros ABS y ácido poliláctico [PLA].

Principios generales

El extrusor es el rey, ya que la impresión 3D, a grandes rasgos, se basa en mover este dispositivo por tres dimensiones mientras va extruyendo material. La relevancia que tiene tanto en el proceso como en el resultado es total y por eso resulta determinante conocer el diámetro que se va a usar para imprimir el diseño con el que trabajaremos.

Un extrusor con una medida «x» de diámetro va a extruir material de igual medida (fig. 3) —hay un cierto porcentaje de dilatación del material una vez que sale de la boquilla, pero puede ser obviado—. En este caso hipotético, se imprime cada capa de material con una altura igual al diámetro del extrusor, lo que genera que las distintas capas de material apenas tengan contacto entre sí, imposibilitando su adherencia.

Si se define una altura de capa igual al 75% del diámetro del extrusor, se fuerza al material a comprimirse sobre la capa anterior (fig. 4). Este cambio en la altura de la capa —o del eje «Z»— permite tener suficiente superficie de contacto como para lograr la adherencia de una con otra y no colapsar. La altura máxima de capa que se puede utilizar en extrusión de material se ubica entre el 75% y el 80% del diámetro del extrusor. Un porcentaje mayor implicaría capas sin posibilidad de adherencia.

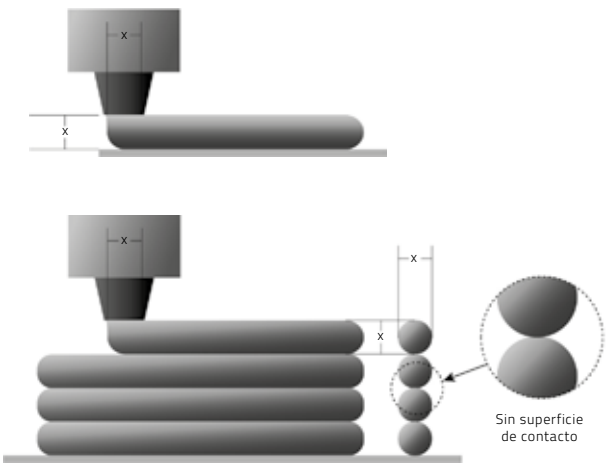


FIGURA 3. DIAGRAMA DE UN EXTRUSOR DEPOSITANDO MATERIAL CON UNA ALTURA DE CAPA IGUAL AL DIÁMETRO «X» DEL EXTRUSOR. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

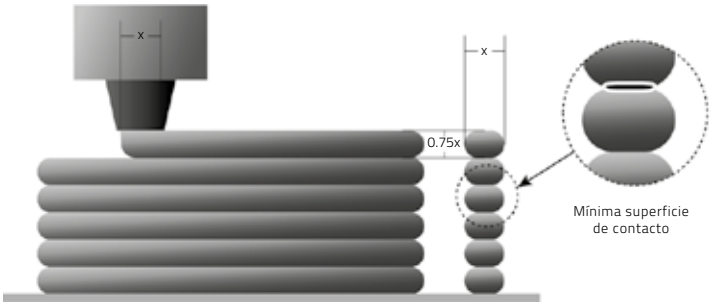


FIGURA 4. DIAGRAMA DE UN EXTRUSOR DEPOSITANDO MATERIAL CON UNA ALTURA DE CAPA IGUAL AL 75 % DEL DIÁMETRO «X» DEL EXTRUSOR. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

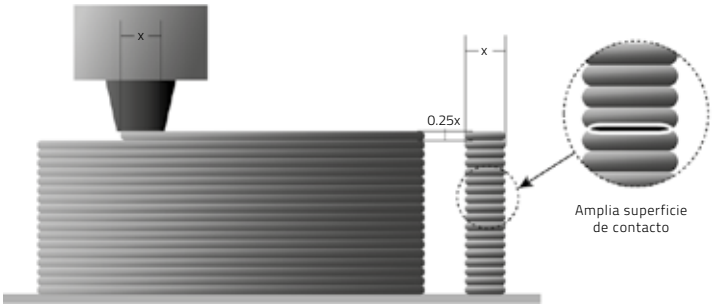


FIGURA 5. DIAGRAMA DE UN EXTRUSOR DEPOSITANDO MATERIAL CON UNA ALTURA DE CAPA IGUAL AL 25 % DEL DIÁMETRO «X» DEL EXTRUSOR. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Para generar una amplia superficie de adherencia, provocando a la par un aumento de la resolución, la altura de capa se puede seguir disminuyendo hasta al menos un 25 % del diámetro del extrusor (fig. 5). Esta limitante se observa en las resoluciones por defecto que manejan la gran mayoría de impresoras del mercado. Con boquillas de 0,4 mm de diámetro, las resoluciones van de 0,3 mm a 0,1 mm, reproduciendo así el esquema de 75 % máximo y 25 % mínimo.

Algunos de los ensayos

RESOLUCIÓN «Z»

La resolución del eje «Z» es generalmente la resolución publicitada al momento de comparar o vender impresoras 3D FDM. En el caso de la impresión por extrusión, el valor de resolución de eje «Z» es el único que puede ser variado vía *software*, ya que el diámetro del extrusor es constante. Sus limitantes están dadas, en su extremo de mayor tamaño, por el diámetro del extrusor, y, en su extremo de menor tamaño, por la precisión de movimientos de motores y rodamientos verticales —características inherentes a la máquina—, así como por las propiedades físicas del material a extruir.

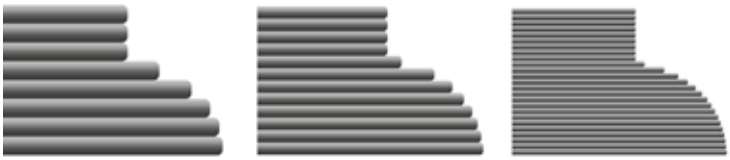


FIGURA 6. DIAGRAMA DE DEFINICIONES DE UNA MISMA GEOMETRÍA EN RESOLUCIONES DE 3X, 2X Y 1X. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

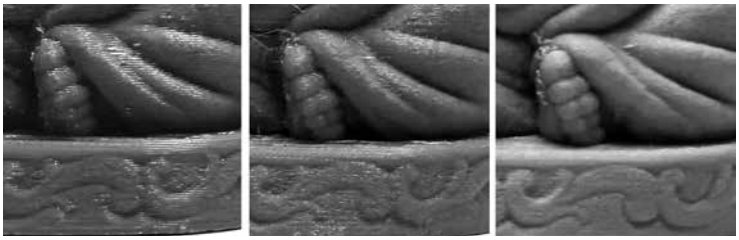


FIGURA 7. DETALLE DE IMÁGENES DE ENSAYOS IMPRIMIENDO UNA MISMA GEOMETRÍA CON DISTINTAS RESOLUCIONES «Z». FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Para comparar las distintas resoluciones de la máquina y saber cómo afectan estas a la pieza final, se imprimió un objeto con una geometría compleja, usando, cada vez, una de las resoluciones *standard* según la máquina (fig. 7). Este tipo de ensayo permite obtener datos sobre calidad superficial, tiempos de impresión y gasto de material, siendo uno de los más comunes en lo que respecta a comparación de resoluciones.

La verificación se realizó mediante la observación, con generalidades y detalles de cada pieza, de manera de comparar visualmente cómo afecta la variación de la resolución «Z» a la terminación y construcción de las piezas.

Podemos observar como la resolución «Z» repercutió directamente en el detalle y calidad de la terminación superficial de la pieza: a mayor resolución, mayor detalle y menos textura superficial derivada del proceso de impresión. Por otro lado, a medida que aumentamos la resolución «Z» la cantidad de material utilizado se mantiene casi constante —cada capa deposita menos cantidad de material a medida que la resolución «Z» aumenta—, pero el tiempo requerido para la impresión crece significativamente.

RESOLUCIÓN «XY»

La resolución de impresión «XY» en este tipo de procesos está limitada por la dimensión del diámetro del extrusor o *nozzle*. Esto deriva en que las posibilidades de resolución de la pieza impresa están vinculadas de manera directa con una característica física de la máquina.

Se realizaron ensayos para contrastar la impresión de paredes con dimensiones iguales al diámetro del extrusor o sus múltiplos —por ejemplo: a un extrusor de 0,4 mm, paredes de 0,4 - 0,8 - 1,2— y fuera de esos patrones.

Para que fuese posible evidenciar las diferencias que arrojaba este ensayo, se trabajó con modelos de paredes de distintos espesores. Fueron impresos

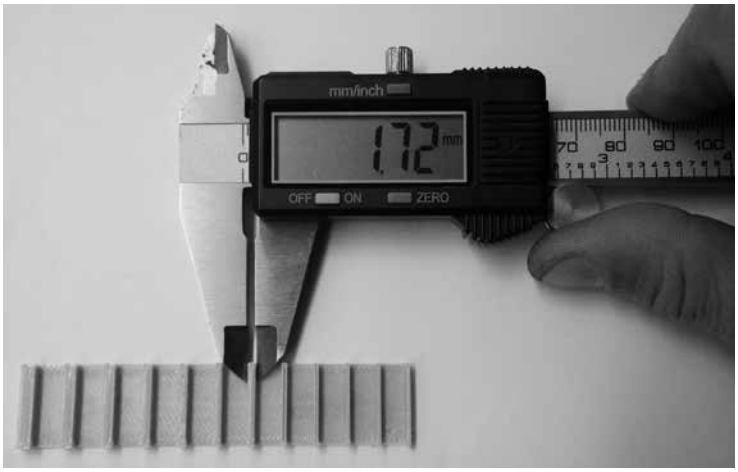


FIGURA 8. MEDICIÓN DE PAREDES PARA ENSAYO DE RESOLUCIÓN «XY».
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

cambiando la escala en pasos de 10%, a fin de ir comprobando cómo un mismo diseño, con el escalado, puede perder o ganar resolución al ver sus detalles comprendidos o no dentro de ese factor de dimensión del extrusor.

Luego de correr la batería de ensayos y tomar las medidas correspondientes (fig. 8), se observó cómo incidían el *software* y la máquina en las diferencias de resolución de los distintos espesores de pared.

Las paredes con espesores menores al diámetro del extrusor son resueltas con un espesor igual al diámetro del extrusor o no son resueltas. Por su lado, las paredes de espesores mayores al diámetro del extrusor son resueltas con paredes iguales o múltiplos de este, lo que genera saltos en los espesores que no respetan los valores del modelo original. Las paredes con valores múltiplos del diámetro del extrusor no presentaron problemas, mientras que las paredes con medidas fuera del rango 1x, 2x, 3x, etcétera, produjeron soluciones diversas. Incluso, paredes con un «alma» hueca.

En el caso de los modelos 3D escalados, se observa cómo paredes, que en su dimensión original se imprimen correctamente, una vez escaladas pueden caer en un rango de espesores en el que se generan «almas» huecas.

ÁNGULOS DE INCLINACIÓN

Como consecuencia de que la extrusión se realiza de forma vertical, en combinación con la restricción de resolución de la dimensión «XY», las piezas impresas adquieren distintas características dependiendo de si su geometría implica inclinaciones con respecto al plano «XY».

En este ensayo se prueban distintos planos inclinados con variaciones y se evalúan los resultados de cada uno de ellos, de forma de determinar los ángulos o rangos con mejor calidad superficial al momento de utilizar esta técnica.

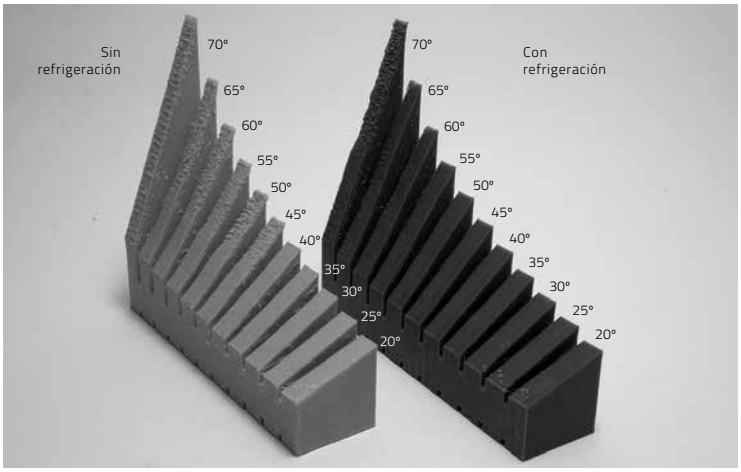


FIGURA 9. MODELOS CON PLANOS A DISTINTOS ÁNGULOS DE INCLINACIÓN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

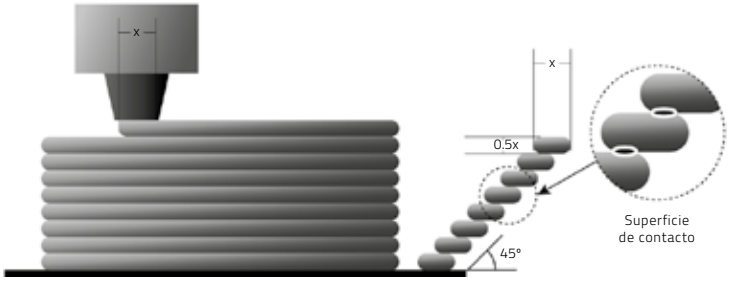


FIGURA 10. SUPERFICIE DE CONTACTO ENTRE CAPAS CON UN DESPLAZAMIENTO DE 45°. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Para geometrías con ángulos menores a 45° es necesaria la generación de soportes o volúmenes auxiliares que realicen la función de base de las capas superiores que serán depositadas. Esto sucede por la forma en que cada deposición de material se adhiere a la capa anterior (fig. 10).

Tanto por la forma en que la impresión por deposición construye cada capa «una sobre otra» como por la manera en que el material es extrudido se verifica que existen límites físicos que limitan la fabricación de determinadas geometrías. El límite está dado por el ángulo de desplazamiento que existe entre capa y capa. Mediante ensayos se verifica que este debe mantenerse por encima de los 45° con respecto al plano de impresión «XY». Asimismo, puede disminuir en condiciones en las que el material extruido pueda solidificarse inmediatamente luego de ser depositado, dando más fortaleza a la cáscara —o *shell*— recién formada. En el caso de las impresoras de extrusión de plástico esto se logra con la incorporación de refrigeración puntual sobre la boquilla del extrusor.

FIGURA 11. MODELOS IMPRESOS, SOMETIDOS A ESFUERZOS DURANTE LOS ENSAYOS.
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

ORIENTACIÓN DE PIEZA (RESISTENCIA MECÁNICA)

Dadas las características en que los objetos son producidos por FDM, este ensayo busca revelar qué tanto influye la orientación de la pieza al momento de ser fabricada en su resistencia mecánica de uso.

Los objetos impresos por extrusión de material son conformados capa por capa y de abajo arriba, lo que les confiere una terminación «a rayas» característica. Esas líneas le indican a cualquier observador la orientación que tenía la pieza en el momento de su impresión y el sentido en el que es más resistente. En el caso de las impresiones en plástico, la consistencia del material una vez fundido en el extrusor es constante y genera una unidad a lo largo de la extrusión, a diferencia de lo que pasa con la extrusión que se deposita sobre otra capa, que ya tiene varios segundos de enfriamiento y exposición a temperatura ambiente. Es así que en el sentido de la impresión podemos hablar de continuidad de material y en el de la suma de capas debemos hablar de adherencia. El vínculo por adherencia entre materiales es estructuralmente más débil que la continuidad de un material fundido y es por eso que la pieza es más débil en la dirección del eje «Z» que en la dirección del plano «XY», sentido en el que se realiza la extrusión. Este ensayo consistió en la impresión de varias copias del mismo objeto, cambiando el ángulo de orientación de la pieza al momento de la impresión, de forma de tener varias copias de una misma forma, pero con orientaciones de extrusión distintas.

Posteriormente se realizaron pruebas de flexión, en el Instituto de Materiales de la Facultad de Ingeniería de la UdelaR, con el fin de estimar qué ángulos o sentidos de extrusión resisten de mejor forma las distintas fuerzas aplicadas. Los ensayos se realizaron basados en la norma ISO 178 —Plastics Determination of flexural properties—, que establece los ensayos aplicables a los plásticos no isótropos como los que se usan en impresión FDM.

El objetivo final fue establecer los ángulos más convenientes para impresión de piezas que deben resistir algún tipo de esfuerzo en su estructura.

FIGURA 12. PIEZAS DE ENSAYO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

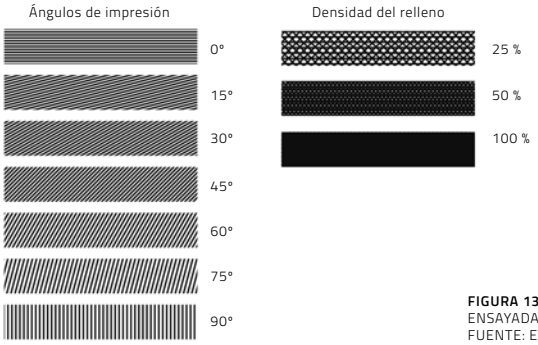


FIGURA 13. DIAGRAMA DE VARIABLES ENSAYADAS —ÁNGULOS Y DENSIDAD—. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

A fin de mantener las piezas a ensayar dentro de cantidades viables de ser realizadas y sin perder efectividad de las pruebas, se definieron 2 variables de las probetas: ángulo de fabricación y densidad —*infill*—. El ángulo se definió en saltos de 15°, de 0° a 90°, totalizando 7 variantes. La densidad —*infill*— se estableció en 3 variantes: 25%, 50% y 100%. De cada una de las combinaciones de variantes —ángulos y densidad— se realizaron 5 piezas idénticas, tal como exige la norma.

Como se puede apreciar en la siguiente gráfica (fig. 14), la resistencia a la presión está directamente relacionada con el porcentaje de relleno o *infill* de la pieza, por lo que las probetas con densidad 25% resisten menos que las probetas con densidad 50% y estas menos que las probetas con densidad 100%. Esta relación se cumple cuando el ángulo de acción del esfuerzo es de 90° con respecto al sentido de fabricación de la pieza y solo se mantiene para distintos ángulos de acción en las piezas con 100% de relleno. En el caso de las probetas con rellenos parciales, de 25% y 50%, la resistencia cae a medida que nos acercamos a los 45° de ángulo entre el esfuerzo y el sentido de impresión de la pieza. Esa resistencia luego se mantiene constante para ambos porcentajes de relleno a medida que se acerca al ángulo de acción del esfuerzo igual a 0° con respecto al sentido de impresión de la pieza.

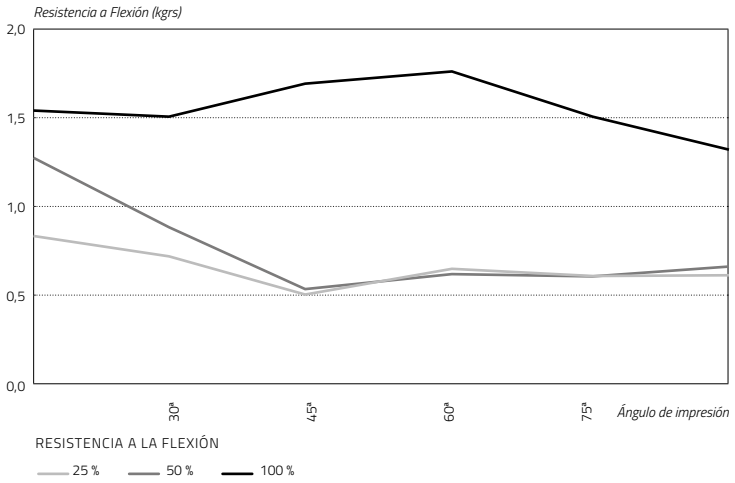


FIGURA 14. GRÁFICA DE RESISTENCIA A LA FLEXIÓN ÁNGULOS DE IMPRESIÓN / RESISTENCIA A LA FLEXIÓN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

Podemos concluir, entonces, que para piezas que requieran soportar esfuerzos conviene que estas sean impresas perpendiculares al sentido del esfuerzo al que van a ser sometidas. Cabe agregar que en escenarios de menor control, solo en ángulos superiores a 45° y densidades de pieza del 100% de relleno.

Otro dato significativo que arroja este ensayo es que las piezas plásticas impresas en PLA se mantienen dentro del rango típico de resistencia en PLA inyectado —entre 1310 a 16100 psi— solo en su configuración de densidad del 100%. En los ensayos, las piezas con densidad 100% promediaron los 1,5 kg/mm^2, lo que equivale a 2133 psi. Con densidades de 25% y 50% y ángulos superiores a los 45°, el promedio fue de 0,7 kg/mm^2, lo que equivale a 853 psi, poco más del 50% de la resistencia mínima a la flexión para materiales como el PLA.

producción

El nudo y la retícula

Casa de la Rifa de la generación 2012

JORGE GAMBINI

Arquitecto (FARQ-UdelaR, 1999). Doctorando en Proyecto (UdelaR). Profesor Agregado del Instituto de la Construcción y Profesor Adjunto del Taller Velázquez (FADU-UdelaR). Integrante del equipo curatorial del pabellón uruguayo en la XIV Bienal de Arquitectura de Venecia. Finalista del premio Oscar Niemeyer 2018. Director de Enciam. Autor de diversos escritos y artículos.

FOTOGRAFÍA: JORGE GAMBINI

OBRA	CASA DE LA RIFA DE LA GENERACIÓN 2012
DESTINO	HABITACIÓN
AUTORES	MARÍA INÉS GARCÍA Y MAXIMILIANO GARCÍA
PRESUPUESTO TOTAL	$U 17.027.718, IMPUESTOS INCLUIDOS
SUPERFICIE DE TERRENO	526,6 m^2
SUPERFICIE CONSTRUIDA	256,3 m^2
SISTEMA ESTRUCTURAL	FUNDACIÓN: PILOTES PILARES: 2 PNC 14 VIGAS INTERMEDIAS: 2 PNC 18 VIGAS PERIMETRALES: PNC 26 LOSAS: LOSA HUECA DE 60 cm. DE ANCHO Y E = 80 mm.
MODULACIÓN ESTRUCTURAL	Ancho de la volumetría como múltiplo de losas: volumen principal equivalente a ocho losas de ancho y volumen bajo a siete losas de ancho
CERRAMIENTOS HORIZONTALES INTERMEDIOS	BALDOSA VINÍLICA CARPETA DE NIVELACIÓN EN ARENA Y PÓRTLAND, E = 2 cm. RELLENO DE HORMIGÓN CELULAR, E = 14 cm LÁMINA RESISTENTE AL IMPACTO, E = 6 mm. CARPETA DE COMPRESIÓN, E = 3 cm. LOSA HUECA HOPRESA, E = 8 cm.
CERRAMIENTO HORIZONTAL SUPERIOR	MEMBRANA LÍQUIDA KUBAL COAT, E = 4 mm. POLIURETANO PROYECTADO, E = 30 mm. BARRERA DE VAPOR KUBAL GUM CARPETA DE COMPRESIÓN CON PENDIENTE 1,5 % (SEGÚN ESTRUCTURA). LOSA HUECA HOPRESA, E = 8 cm.

CERRAMIENTOS VERTICALES OPACOS	LADRILLO ECOLÓGICO COLOR NEGRO POLIESTIRENO EXPANDIDO, E = 3 cm. EMULSIÓN ASFÁLTICA O BARRERA HUMÍDICA SIMILAR PLACA CEMENTICIA, E = 1 cm. MONTANTES *STEEL FRAME* DE 70 mm. PLACA DE YESO, E = 1 cm. ENDUIDO Y PINTURA PARA INTERIORES COLOR BLANCO MATE
CERRAMIENTOS VERTICALES PERMEABLES A LA LUZ	ABERTURAS DE ALUMINIO A30-NEW DVH 5/9/6 CELOSÍAS DE MADERA DOUGLAS-FIR

> Una arquitectura que no deriva sus temas de sí misma es como una pintura que no trata de ser nada más que una reproducción fotográfica. El tema y el contenido de la arquitectura solo puede ser la arquitectura misma. Así como la pintura usa su propio lenguaje y poética para dar expresión a las imágenes, o la música se representa en composiciones tonales, hay una posibilidad, e incluso la necesidad, para la arquitectura, de hacer las ideas visibles y comprobables en forma de composiciones espaciales mediante el uso del lenguaje de la arquitectura. Mientras que la pintura y la escultura pueden (aunque no necesariamente tienen que) reproducir una realidad extrema y mientras que la literatura puede incluso describir percepciones, la arquitectura, de una manera no muy diferente de la música, debería proponerse derivar de sí misma los temas que desea expresar. La identificación y definición de un tema son premisas indispensables para la arquitectura. Una vez que un tema ha sido identificado, puede ser sometido a variaciones y ser transformado a voluntad, pero es fundamental que exista un tema como base para el proyecto.
>
> Oswald Mathias Ungers en *La Arquitectura como tema* (1982).

La casa proyectada por María Inés García y Maximiliano García parece estar sumándose a una tendencia que caracteriza a buena parte de la producción contemporánea y que recupera temas y referentes de la arquitectura moderna de posguerra. Una arquitectura que, en un regreso hacia el objeto y su construcción material, toma como centro de la reflexión y creación disciplinar temas como la estructura formal, la innovación tipológica y la expresión tectónica.

Arquitectos como Bruther, Dogma y E2A, los argentinos de Dinamo y Torrado, así como algunos jóvenes arquitectos en Uruguay, recorren ciertos senderos, inaugurados ya en la tradición clásica y que con la modernidad adquirieron el signo enfático de la abstracción, con una consistencia y capacidad de propuesta que hasta hace poco tiempo parecían perdidas para la arquitectura.

En el proyecto premiado en el concurso de la Casa de la Generación 2012 era posible ver referencias de la casa Oks de Antonio Bonet, en Buenos Aires, de 1957, con su estructura esquelética de acero negro y su escalera exterior contenida en la retícula estructural, ligada al cuerpo construido por medio de un puente. En el proyecto finalmente construido se deslizan otras referencias más próximas como los trabajos de los argentinos de Torrado arquitectos, mencionados por los autores durante la visita a la obra como una alusión del proyecto.

Es probable que la Casa de la Generación 2012 no sea la más lograda de las tres realizadas para el Concurso de Vivienda por esta prometedora dupla de estudiantes. A la dificultad de un predio con una normativa compleja se le sumaba lo exigido por el programa arquitectónico, que incluía tres viviendas accesibles. Sin embargo, a pesar de este conjunto de limitantes, esta parece ser la propuesta más valiente y radical de los autores. La que se suma a un camino que trasciende el valor de cada obra en particular. Un camino que hace de la relación entre la estructura y la forma un sistema de proyecto.

Aquí nos concentramos en este único aspecto, dejando los otros de lado: la capacidad del marco estructural de articular la realidad tecnológica de la obra y su formalización. En este sentido, las fotografías que acompañan este texto evidencian los aciertos, las potencialidades y las imprecisiones de una obra en la que resuena la cabaña primitiva del jesuita Laugier, quien desplazó el centro de la arquitectura de los órdenes clásicos a las características esenciales de dicha cabaña, un prototipo abstracto y racional en el que el modelo estático anticipa el carácter de cada proyecto.

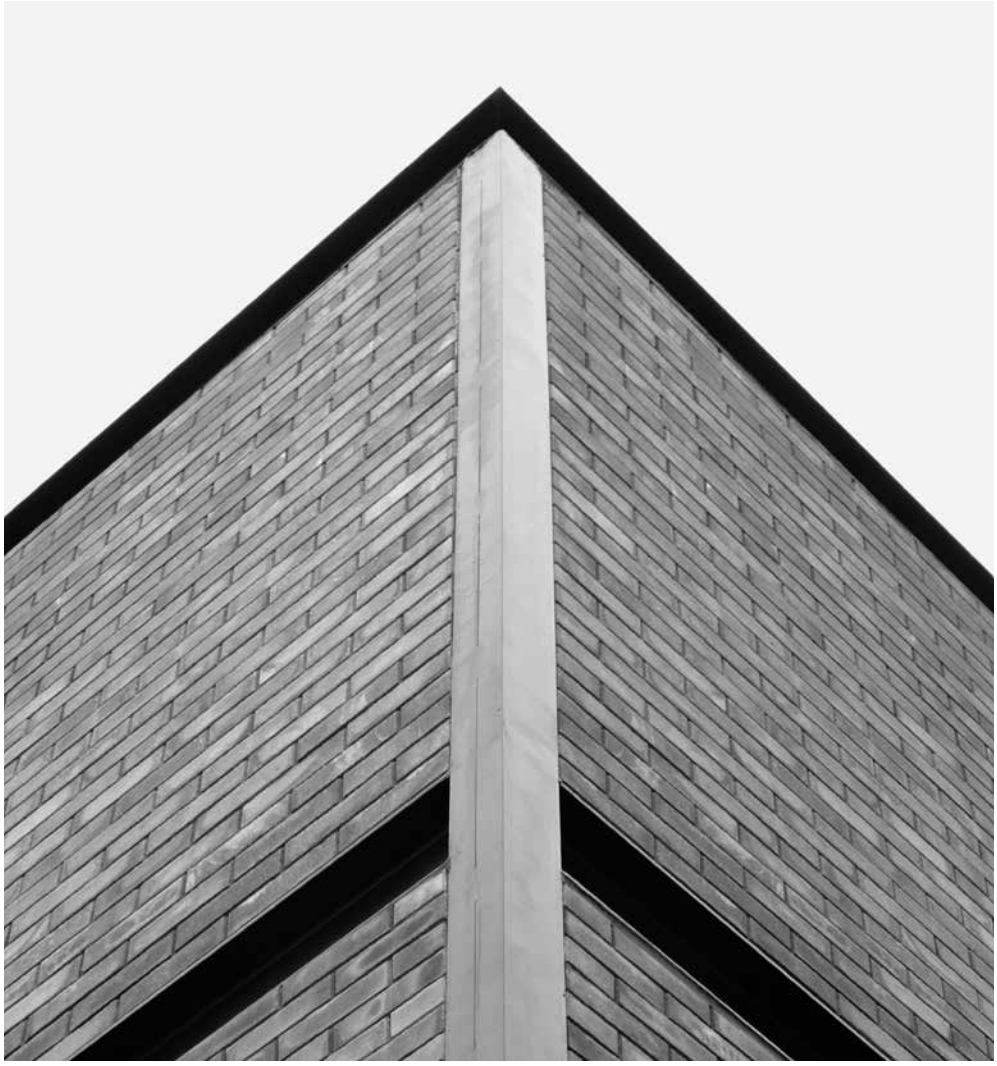
La tendencia a la abstracción y universalidad que caracteriza a una arquitectura definida en estos términos ofrece una base común que recupera la posibilidad de la inteligibilidad del lenguaje arquitectónico como expresión de una época. Al mismo tiempo, establece redes que trascienden las fronteras geográficas y temporales.

Las obras más radicales y disruptivas de la actualidad están vinculadas al uso retrospectivo de criterios modernos de forma como material intelectual del proyecto. No solamente como facilitadores de una determinada figuración externa, sino como componentes de una identidad material consistente, capaz de abrir un espacio específico para el despliegue indeterminado de la subjetividad.

la retícula y el nudo
el lenguaje de la precisión

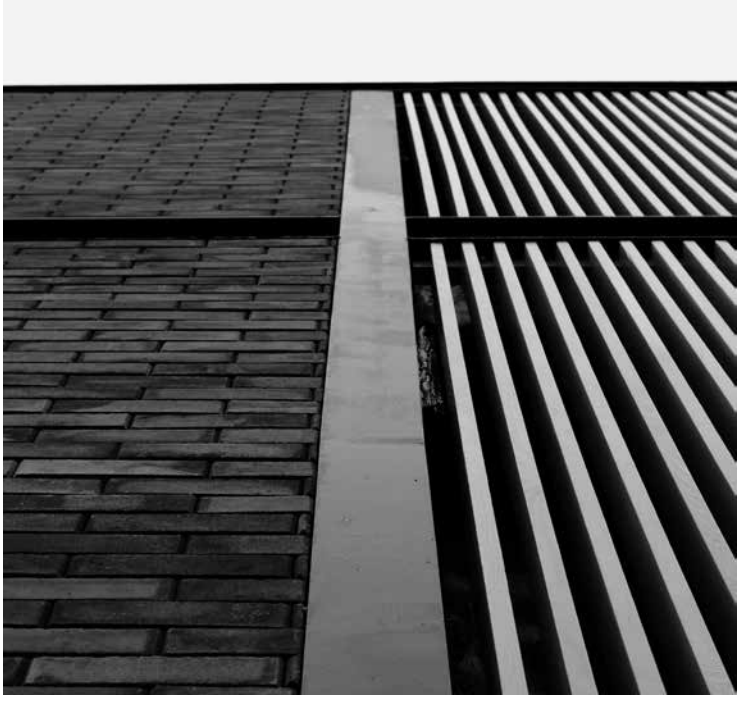
**estructura y mecanismo,
un encuentro difícil**

**la grilla y el muro
construyen la esquina**

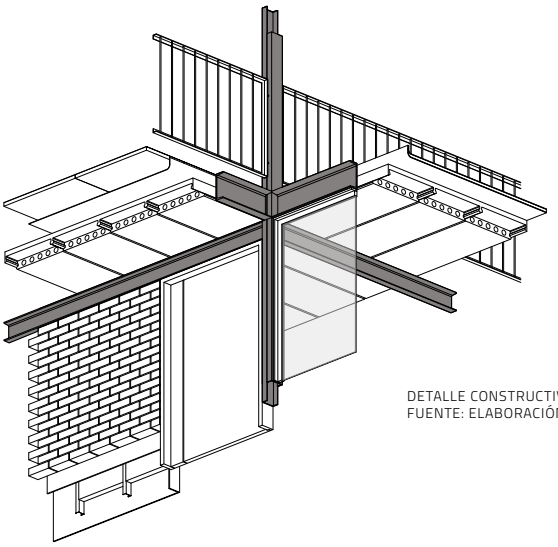


la textura de un orden modular

continuidad
y discontinuidad

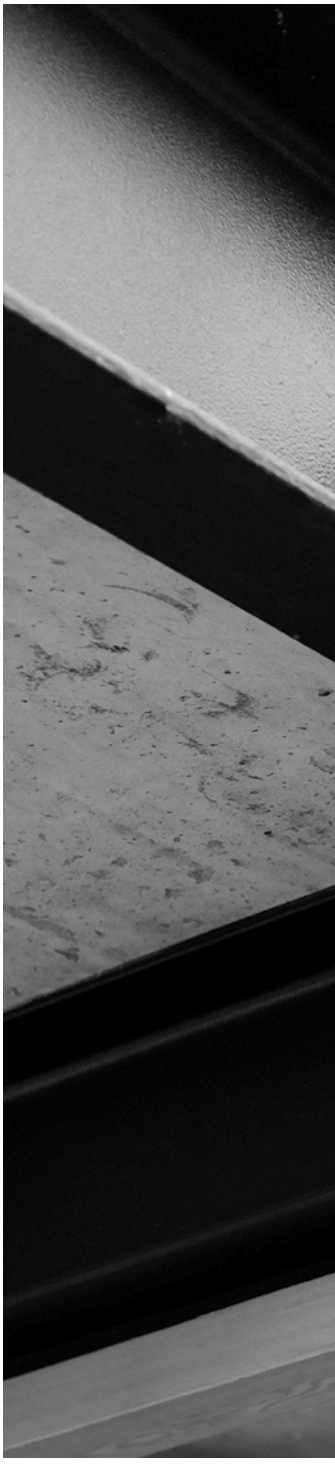


tres momentos de fragilidad



DETALLE CONSTRUCTIVO.
FUENTE: ELABORACIÓN DE LOS PROYECTISTAS.

Un salto...



... y una duda

El caso de la capilla que llegó en barco

MAPA ARQUITECTOS

Mauricio López, Andrés Gobba, Matías Carballal, Diego Morera y Agustín Dieste.
MAPA es un estudio creativo cuyo campo de acción es la arquitectura. Al modo de una práctica, está enfocado en crear de manera sensible y rupturista nuevas realidades materiales, digitales, naturales y culturales. El estudio trabaja en obras y proyectos de diversas escalas y complejidades en varias partes del mundo. Desarrolla exploraciones vinculadas a la prefabricación y al paisaje a través de proyectos, obras, prototipos, *workshops*, indagaciones teóricas y exposiciones.

FOTOGRAFÍA: TALI KIMELMAN

Introducción

Este artículo se detendrá en el caso de la Capilla de Sacromonte, diseñada y construida por el estudio MAPA, que por sus características de producción sirve de excusa para ensayar miradas en torno a la industrialización en la arquitectura.

La edificación está constituida por un total de 403 piezas. Entre las 39 de mayor porte se incluyen los 8 paneles de madera maciza Cross-Laminated Timber [CLT] que la estructuran y caracterizan. Son su rasgo distintivo, ya que la conforman material y formalmente, e incluso, podríamos arriesgarnos a decir, espiritualmente.

Mientras que su materialización comenzó hace treinta años en un plantío de un vivero del País Vasco, llegó al puerto de Montevideo en barco desde Portugal y su instalación en las sierras uruguayas se realizó tan solo en un día de diciembre del año 2017.

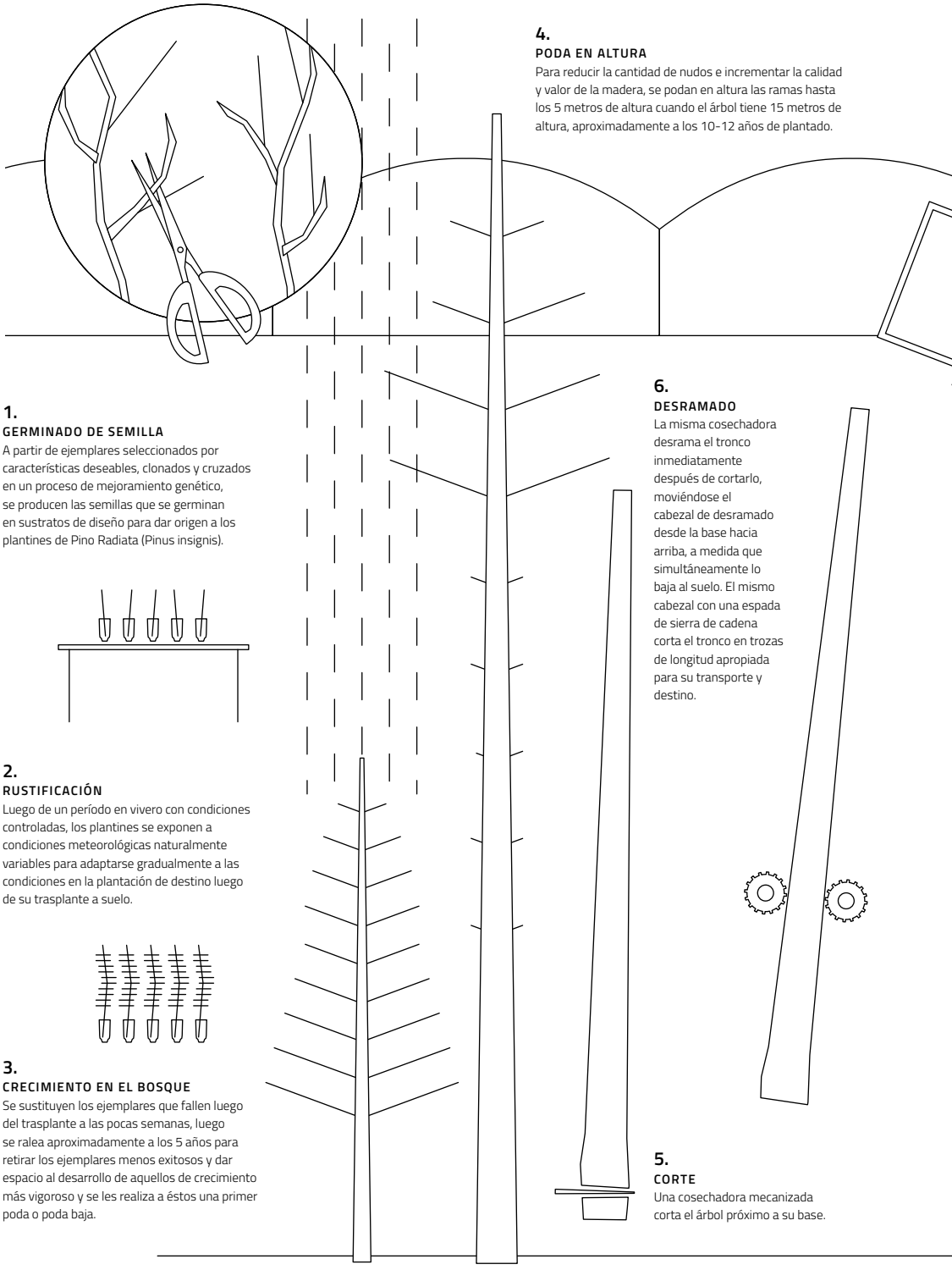
La forma más sincera y actual de presentar su concepción y construcción tal vez ya no sea únicamente aquella que puede brindarse desde un análisis tipológico o una mirada solamente fenomenológica. Tampoco desde su espacialidad y su vínculo con el paisaje, o la descripción de la mera voluntad de los arquitectos y sus clientes, sino que para hacerlo parece necesaria la formulación de nuevos modos mestizos, relacionales y procesuales.

Nos proponemos un ejercicio en este sentido: centrarnos en sus piezas de CLT para conformar un inventario de los procesos y aparatos —y sus interacciones— que fueron necesarios para fabricarlas. Pretendemos, así, confeccionar

una reconstrucción forense del proceso que implicó ir desde el tronco hasta el espacio para hacer visible su código fuente.

Será este un cuaderno de obra deslocalizado, un conglomerado de trayectos, materias primas, actores, aparatos, *softwares*, movimientos, medios de transporte, robots, órdenes maquínicas y, en ciertas instancias, creatividad humana.

FIGURA 1
CAPILLA EN SACROMONTE, DE MAPA
FOTOGRAFÍA: TALI KIMELMAN



1.
GERMINADO DE SEMILLA
A partir de ejemplares seleccionados por características deseables, clonados y cruzados en un proceso de mejoramiento genético, se producen las semillas que se germinan en sustratos de diseño para dar origen a los plantines de Pino Radiata (Pinus insignis).

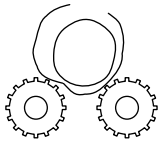
2.
RUSTIFICACIÓN
Luego de un período en vivero con condiciones controladas, los plantines se exponen a condiciones meteorológicas naturalmente variables para adaptarse gradualmente a las condiciones en la plantación de destino luego de su trasplante a suelo.

3.
CRECIMIENTO EN EL BOSQUE
Se sustituyen los ejemplares que fallen luego del trasplante a las pocas semanas, luego se ralea aproximadamente a los 5 años para retirar los ejemplares menos exitosos y dar espacio al desarrollo de aquellos de crecimiento más vigoroso y se les realiza a éstos una primer poda o poda baja.

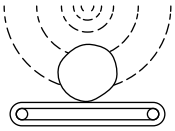
4.
PODA EN ALTURA
Para reducir la cantidad de nudos e incrementar la calidad y valor de la madera, se podan en altura las ramas hasta los 5 metros de altura cuando el árbol tiene 15 metros de altura, aproximadamente a los 10-12 años de plantado.

5.
CORTE
Una cosechadora mecanizada corta el árbol próximo a su base.

6.
DESRAMADO
La misma cosechadora desrama el tronco inmediatamente después de cortarlo, moviéndose el cabezal de desramado desde la base hacia arriba, a medida que simultáneamente lo baja al suelo. El mismo cabezal con una espada de sierra de cadena corta el tronco en trozas de longitud apropiada para su transporte y destino.

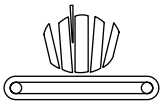


8.
DESCORTEZADO
Se retira la capa externa de corteza a las trozas.

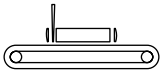


9.
ESCANEO DE TROZAS
Se determina diámetro, longitud, volumen, curvatura y conicidad de cada troza.

10.
LABRA DIGITAL
Un software calcula la labra óptima para maximizar el rendimiento de las secciones de madera.



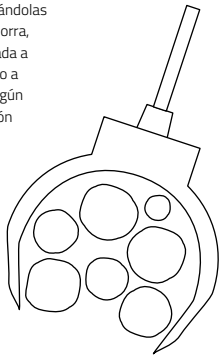
11.
ASERRADO
Se cortan primero los costaneros y luego la pieza se secciona según la optimización determinada.

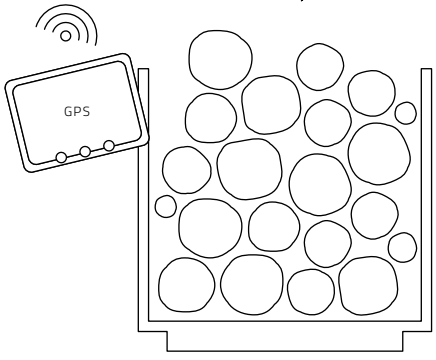


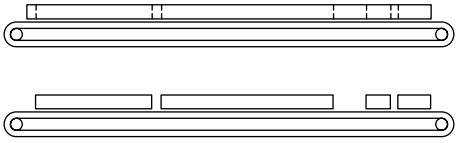
12.
CANTEADO
Las piezas pasan a ser tablas escuadradas una vez retirados los bordes externos irregulares.

13.
ESCANEO ÓPTICO DE DEFECTOS
Las tablas pasan por un sistema óptico de detección de defectos, como desvío excesivo de fibras, nudos, entrecortezas o fendas.

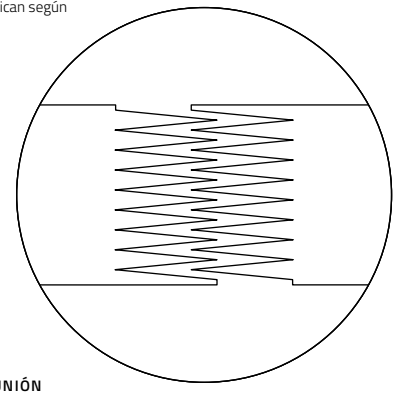
7.
CARGA Y TRANSPORTE
Las trozas se cargan izándolas con una grapa en una zorra, que puede estar acoplada a la misma cosechadora o a un camión o *skidder*, según el caso. Luego un camión transporta las trozas al aserradero.



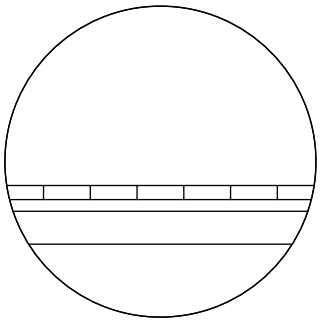




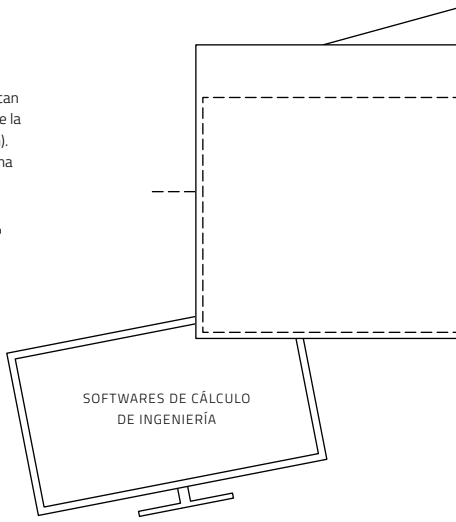
14.
REMOCIÓN DE TRAMOS
Se seccionan de cada tabla los tramos que contengan los defectos detectados en el paso anterior, los tramos limpios resultantes se clasifican según su longitud.

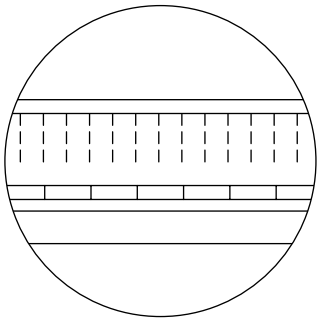


15.
EMPALME POR UNIÓN DENTADA O *FINGERJOINT*
Las cabezas de los tramos limpios y de longitud adecuada se mecanizan, encolan y prensan entre sí para ser empalmados en una unión solidaria que genera tablas compuestas, estructuralmente continuas, de la longitud que se desee.

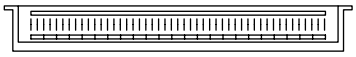


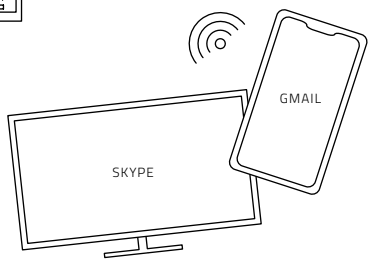
16.
COLOCACIÓN DE PRIMERA CAPA DE CLT
Las tablas compuestas y libres de defectos se colocan en una capa, una junto a otra canto con canto, sobre la cama de una prensa de vacío de gran porte (3x18m). Sobre toda la superficie de esta capa se deposita una capa de adhesivo estructural.

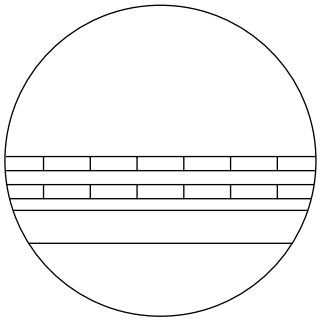




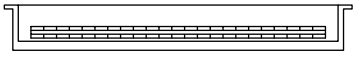
17.
COLOCACIÓN
DE SEGUNDA CAPA DE CLT
Esta capa de tablas se coloca en dirección perpendicular a la primera, también canto con canto. Se vuelve a depositar una capa homogénea de adhesivo estructural sobre la superficie de esta nueva capa de tablas.

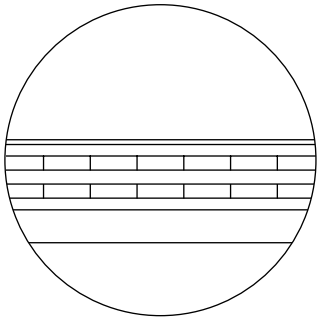




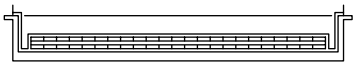


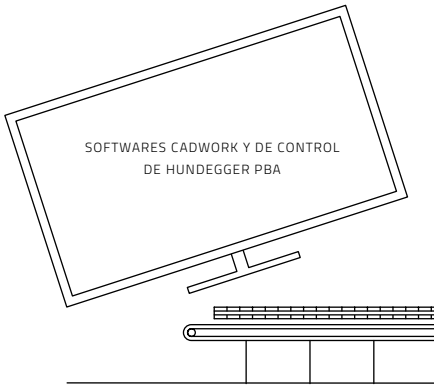
18.
COLOCACIÓN
DE TERCERA CAPA DE CLT
Se coloca la última capa de tablas de los paneles de CLT, paralela a la primera.

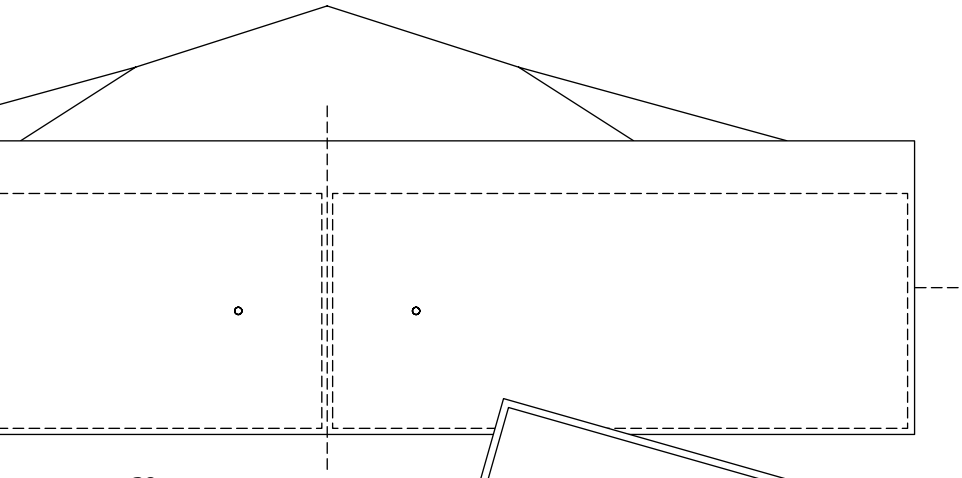


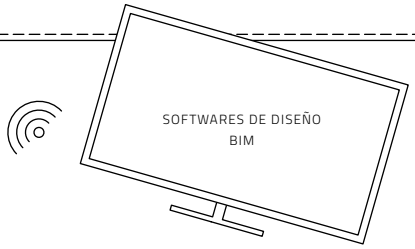


19.
PRENSADO
Bajo condiciones específicas de humedad y temperatura ambiente, una membrana flexible cubre el panel a generar, y una bomba de vacío neumático genera presión controlada sobre todas sus caras, que se mantiene durante el curado del adhesivo.

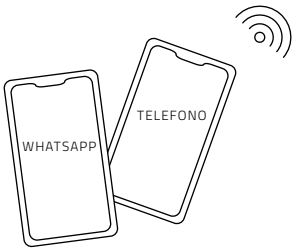




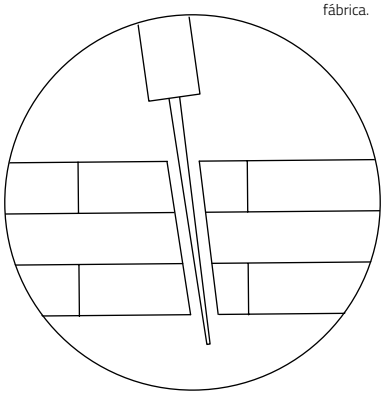


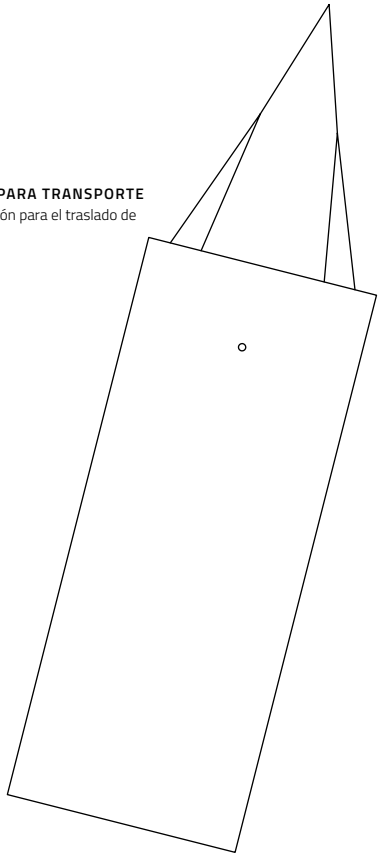


20.
ANIDADO
Las piezas a obtener de un panel completo de CLT se "anidan", es decir, se encuentra una distribución geométricamente óptima para generar el menor desperdicio posible.

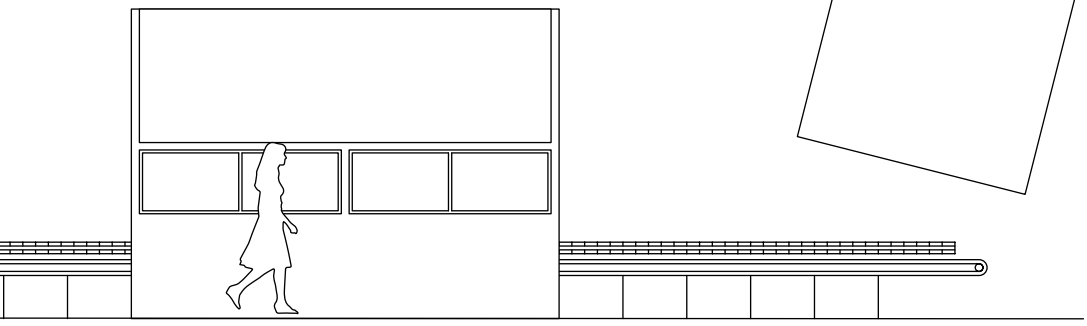


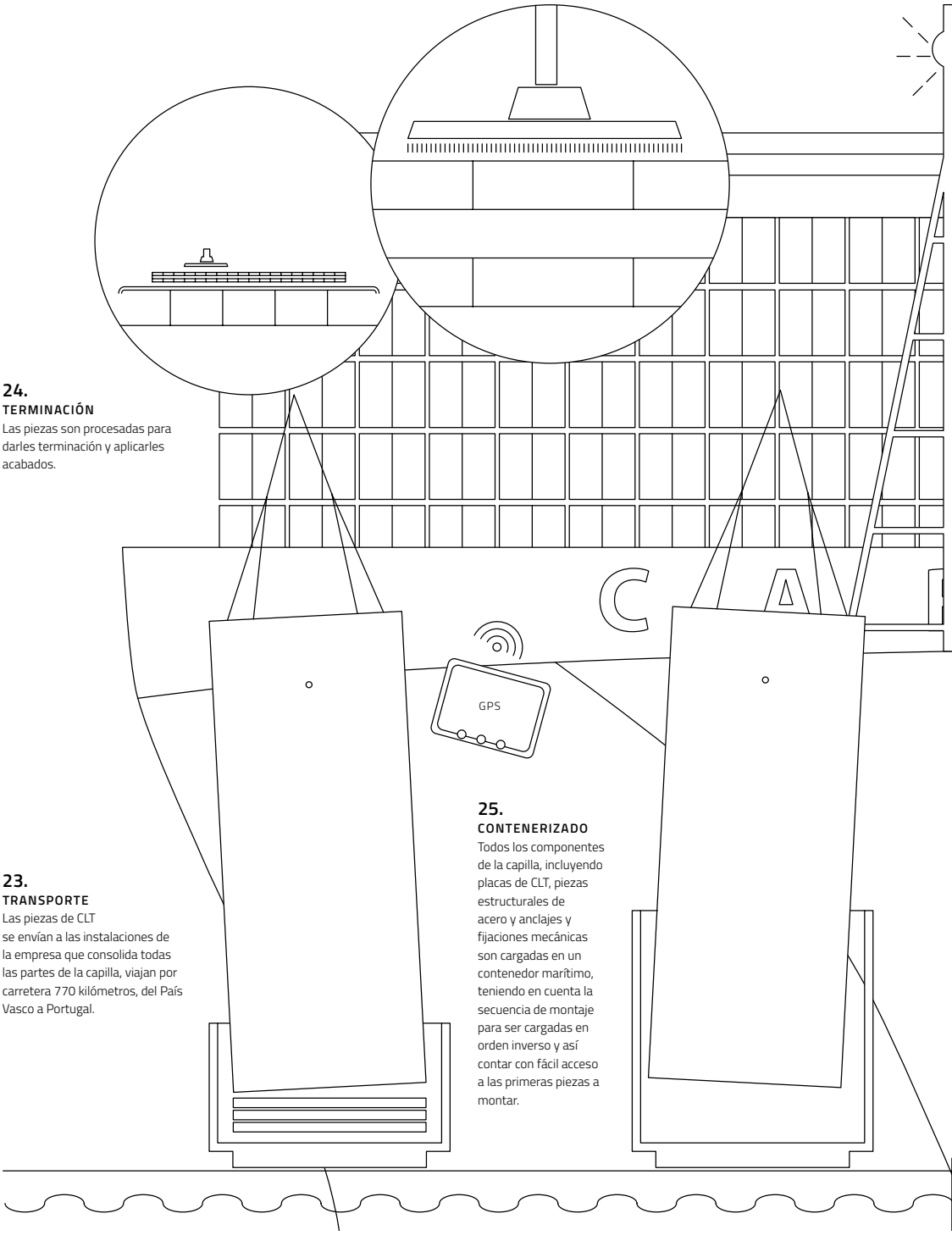
22.
CARGA PARA TRANSPORTE
Preparación para el traslado de fábrica.





21.
ELABORACIONES
Una máquina de mecanizado por control numérico (CNC), realiza todas las elaboraciones como cortes, canteados, perforaciones, ranurados y demás. Dicha máquina consta con un intercambiador de cabezales que le permite operar con sierras de disco, de cadena, y diferentes tipos de fresas y mechas.



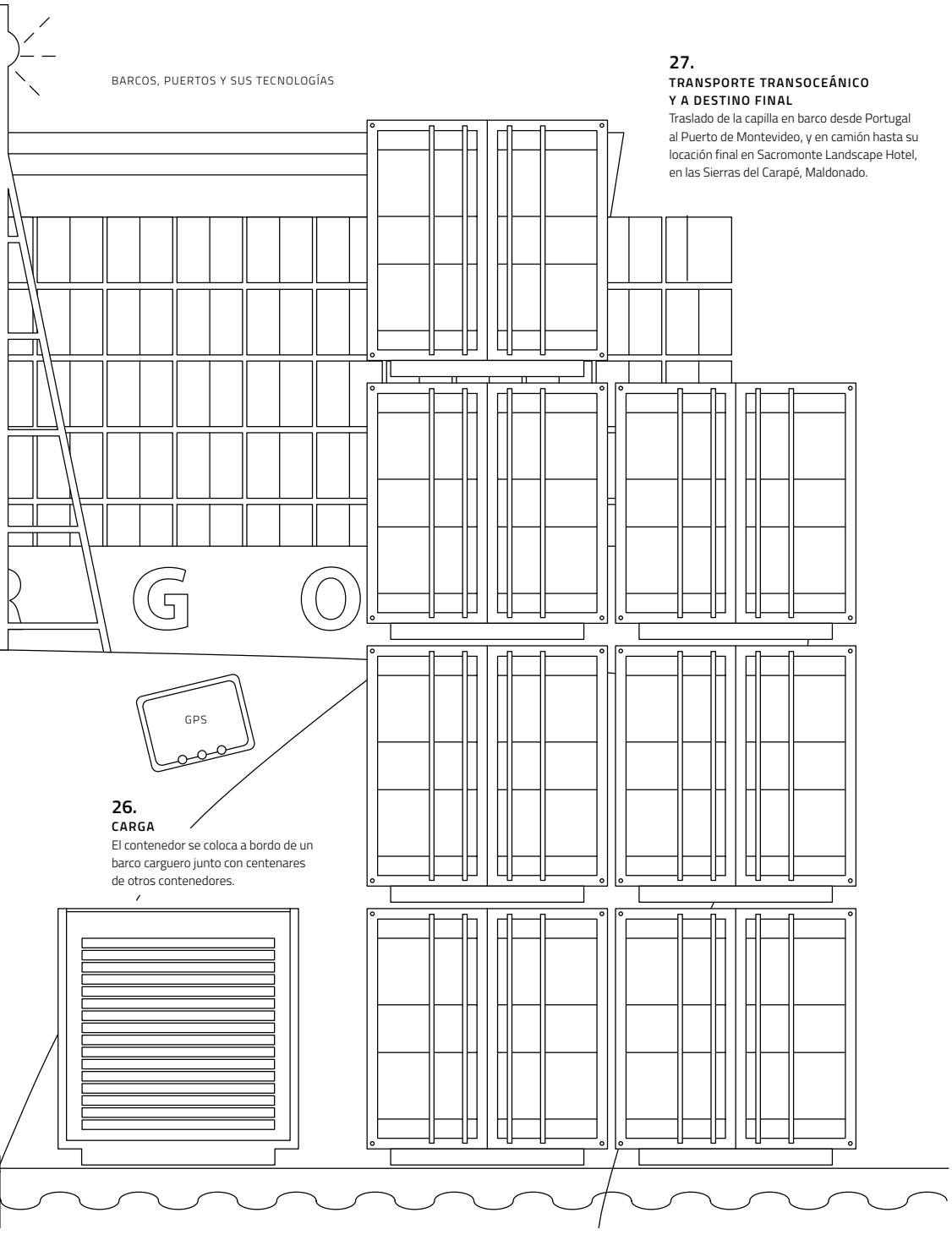


24.
TERMINACIÓN
Las piezas son procesadas para darles terminación y aplicarles acabados.

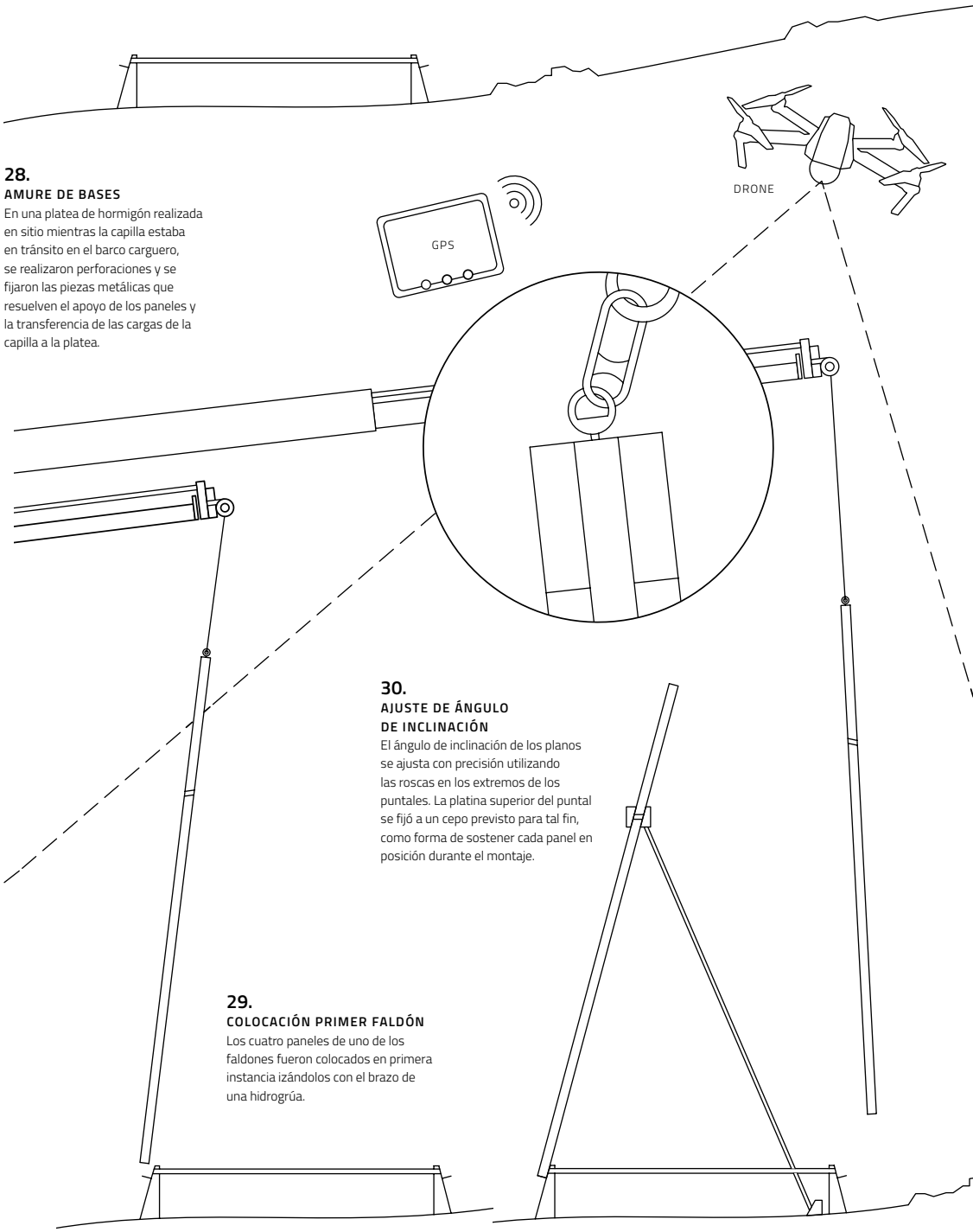
23.
TRANSPORTE
Las piezas de CLT se envían a las instalaciones de la empresa que consolida todas las partes de la capilla, viajan por carretera 770 kilómetros, del País Vasco a Portugal.

25.
CONTENERIZADO
Todos los componentes de la capilla, incluyendo placas de CLT, piezas estructurales de acero y anclajes y fijaciones mecánicas son cargadas en un contenedor marítimo, teniendo en cuenta la secuencia de montaje para ser cargadas en orden inverso y así contar con fácil acceso a las primeras piezas a montar.

27.
TRANSPORTE TRANSOCEÁNICO Y A DESTINO FINAL
Traslado de la capilla en barco desde Portugal al Puerto de Montevideo, y en camión hasta su locación final en Sacromonte Landscape Hotel, en las Sierras del Carapé, Maldonado.



26.
CARGA
El contenedor se coloca a bordo de un barco carguero junto con centenares de otros contenedores.



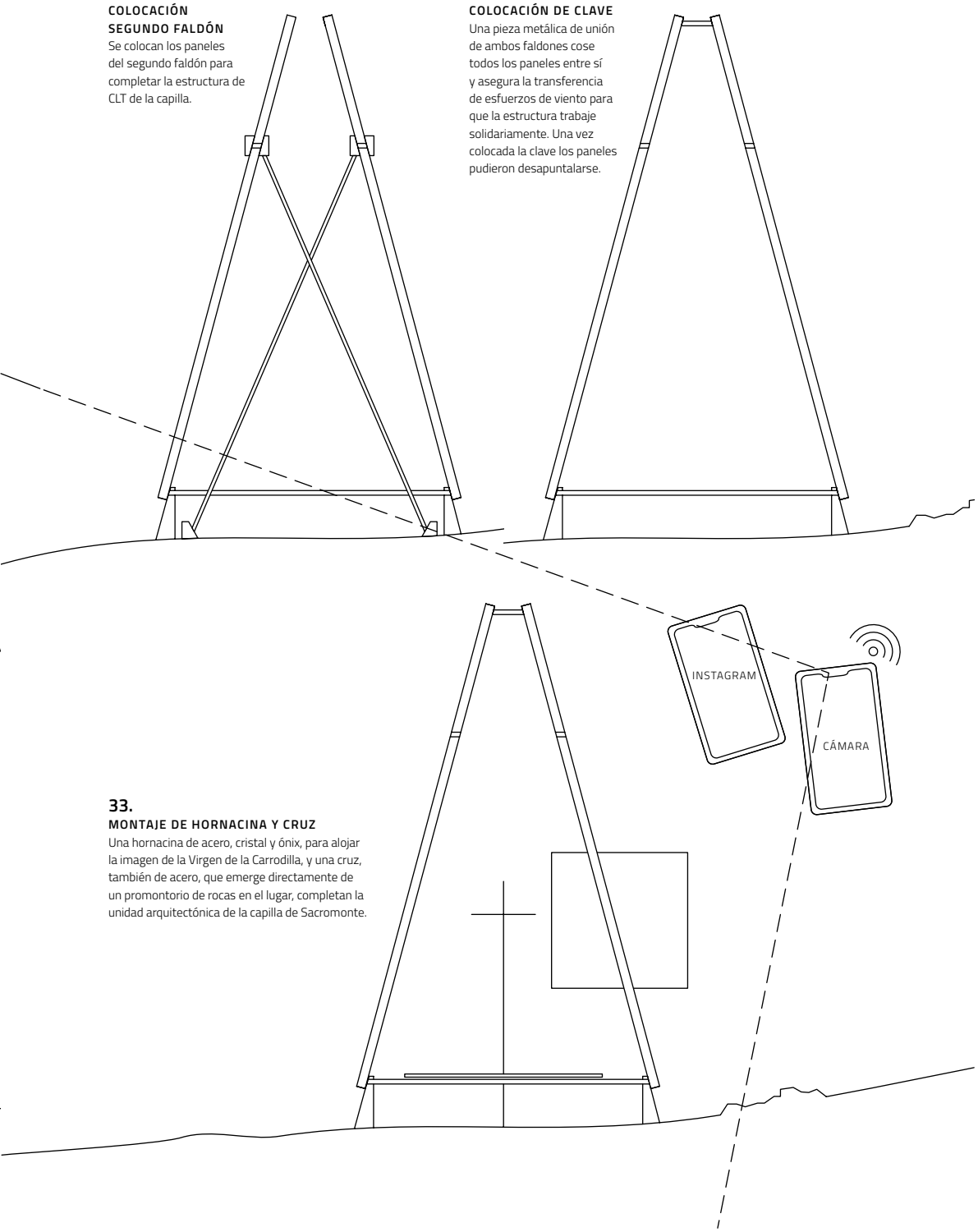
28.
AMURE DE BASES
En una platea de hormigón realizada en sitio mientras la capilla estaba en tránsito en el barco carguero, se realizaron perforaciones y se fijaron las piezas metálicas que resuelven el apoyo de los paneles y la transferencia de las cargas de la capilla a la platea.

30.
AJUSTE DE ÁNGULO DE INCLINACIÓN
El ángulo de inclinación de los planos se ajusta con precisión utilizando las roscas en los extremos de los puntales. La platina superior del puntal se fijó a un cepo previsto para tal fin, como forma de sostener cada panel en posición durante el montaje.

29.
COLOCACIÓN PRIMER FALDÓN
Los cuatro paneles de uno de los faldones fueron colocados en primera instancia izándolos con el brazo de una hidrogrúa.

31.
COLOCACIÓN SEGUNDO FALDÓN
Se colocan los paneles del segundo faldón para completar la estructura de CLT de la capilla.

32.
COLOCACIÓN DE CLAVE
Una pieza metálica de unión de ambos faldones cose todos los paneles entre sí y asegura la transferencia de esfuerzos de viento para que la estructura trabaje solidariamente. Una vez colocada la clave los paneles pudieron desapuntalarse.



33.
MONTAJE DE HORNACINA Y CRUZ
Una hornacina de acero, cristal y ónix, para alojar la imagen de la Virgen de la Carrodilla, y una cruz, también de acero, que emerge directamente de un promontorio de rocas en el lugar, completan la unidad arquitectónica de la capilla de Sacromonte.

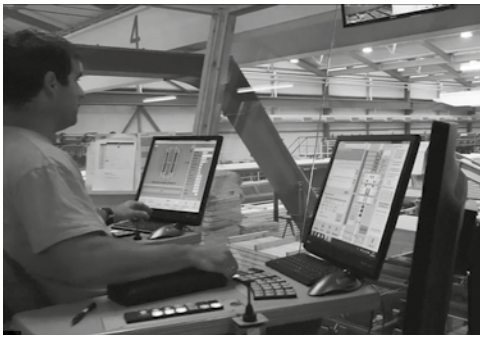
01

02

03

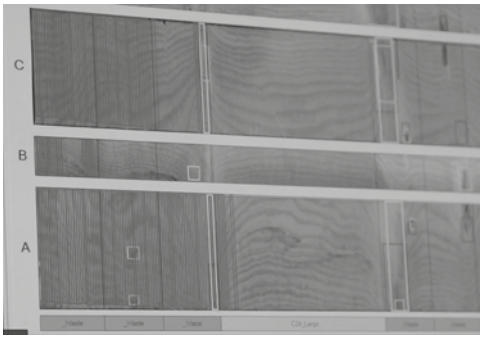
04

05

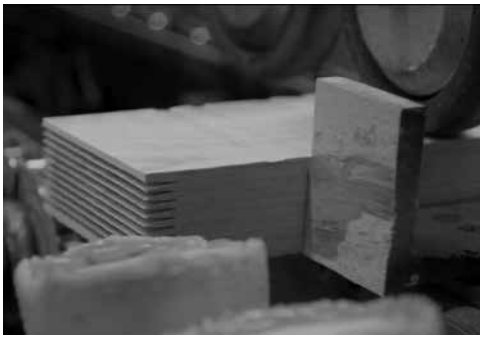


06

07



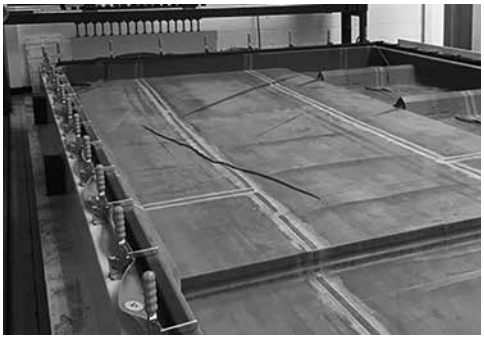
08



09

10

11



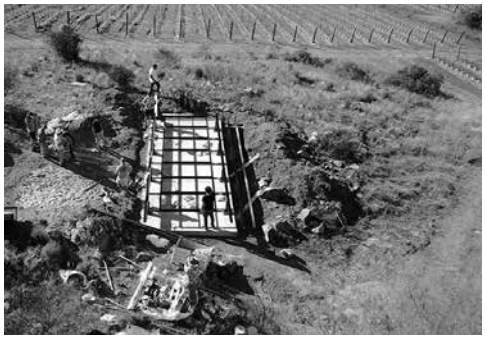
12

13

14

15

16



17

18

19

20

21

FUENTES DE LAS IMÁGENES: 1. IMAGEN TOMADA DE HTTPS://BIT.LY/2G4OTBS; **2.** IMAGEN TOMADA DE WWW.FAS.SCOT/DOWNLOADS/TN695-PRUNING-IMPROVE-TIMBER-QUALITY; **3-4.** IMÁGENES TOMADAS DE WWW.PONSSE.COM/ES/WEB/GUEST/PRODUCTOS/HARVESTERS/PRODUCT#/SCORPION_KING; **5-14.** IMÁGENES TOMADAS DE WWW.EGOIN.COM/CATEGORY/VIDEOS; **15.** IMAGEN TOMADA DE WWW.PORTILAME.COM/PT/4-CONSTRUCAO **16-21** IMÁGENES POR MAPA ARQUITECTOS

Tras los procesos y aparatos de la Capilla de Sacromonte

Mantra para la nueva arquitectura digital
Centrarse en los procesos.
Centrarse en los procesos sobre el objeto.
Centrarse en los procesos sobre el objeto que generan ciertos resultados.
Centrarse en los procesos. Ellos son los importantes.
Como los operadores en una ecuación.
Como los operadores que son, transforman un material y generan resultados.
Estos procesos son aplicados a través de aparatos.
Estos procesos median entre el inicio y los resultados.
Estos procesos median entre nosotros y los resultados.
Cada detalle de su implementación nos habla de ellos.
Cada detalle de su implementación nos habla de los resultados.
Hablar de ellos es hablar del objeto.
Ellos son los resultados.

Luego de disponer a la vista todos los procesos y aparatos que implicaron la fabricación e instalación del CLT en Sacromonte, surgen ciertos indicios sobre los cambios que la industria de la construcción atraviesa en tiempos de la automatización.

El cuaderno de obra deslocalizado evidencia una capilla que pertenece a varios mundos en simultáneo sin decantar todavía en uno particular. Es paradigma de una mudanza en manos de una revolución digital todavía inconclusa.

Al respecto, Mollie Claypool (2019) nos comenta:

> al observar la digitalización del entorno construido, aparece un panorama contradictorio. A diferencia de otras industrias, si bien la expansión de los *softwares* de diseño ha influido en la suavidad y la velocidad con la que se proyectan los edificios, todavía no ha influido en la forma en que estos se construyen. (s.p.)

¿Estamos acaso atravesando el «fin de un mundo», tomando el concepto de Franco «Bifo» Berardi, frente al que la industria de la construcción se resiste a reaccionar?[1] Berardi (2015) se pregunta:

> ¿es posible tratar con las formas emergentes sobre la base de un código anterior? Obviamente no, pero es lo que estamos haciendo actualmente, porque no podemos hacer lo contrario. Intentamos interpretar los fenómenos que surgen de un sistema hipercomplejo e hiperveloz de acuerdo con las categorías normativas que proceden del universo alfabético. (p.108)

¿Es la capilla el ejemplo de un proyecto híbrido, que se posiciona en el difuso límite entre este mundo que llega a su fin y uno nuevo que se impone

1. Dice Berardi (2015) al respecto: «[a] world ends when signs proceeding from the semiotic meta-machine grow indecipherable to a cultural community that perceives itself as a world [...]. When flows of incomprehensible enunciation proceeding from the meta-machine invade the space of symbolic exchange, our world collapses because we are unable to say anything effective about events and things that surround us [...]. The automaton's flow of enunciation emanates a connective world that conjunctive codes cannot interpret, a world that is semiotically incompatible with the social civilization that was the outcome of five centuries of humanism and enlightenment» (p.108). Las traducciones de Claypool y Berardi incluidas en el cuerpo del artículo pertenecen a los autores.

rápidamente? Podríamos, en este sentido, ensayar una lectura a múltiples niveles sobre algunas de las transformaciones fundamentales que esboza.

LO AUTORAL

En la fabricación de los paneles de CLT, la madera es seleccionada y aserrada, las tablas son unidas, los paneles prensados y cortados por máquinas, la geometría de las piezas se define desde un *software* que controla brazos y sierras. Son el producto de un conjunto de decisiones materiales autónomas tomadas por máquinas y sensores.

Estos aparatos altamente especializados ejecutan tareas y procesos que escapan de la simple comprensión, provocando asombro técnico y alejándonos del entendimiento manual o táctil. Son cajas negras, en sentido «flusseriano»,[2] que opacan procesos, hacen por nosotros y provocan cambios tanto en nuestra percepción del producto como en nuestro rol creativo. El binomio creación-creador se ve borroneado, ya que nuestras creaciones están mediadas por ellas.

Este nuevo material, perteneciente a la esfera técnica, debe entenderse, entonces, como una materia prima tecnificada y no natural.

LO ARTESANAL

Cada material está asociado a transformaciones que el hombre provoca para modificar el medio ambiente en el que se encuentra. José Ortega y Gasset (1968) denomina «técnica» a este hacer transformador, además de distinguir diferentes épocas ligadas a la evolución del mismo. Según este autor,

> [e]l hombre ha llegado a interponer entre la naturaleza y él una zona de pura creación técnica, tan espesa y profunda que vino a constituir una sobrenaturaleza [...]. Está irremediablemente adscrito a esta y colocado en ella como el hombre primitivo en su entorno natural. (Ortega y Gasset, 1968, p.32)

Primero, el agricultor es sustituido por invernaderos *hi-tech* en los que se produce la repetición del árbol primigenio. La repetición del Uno idéntico está en la base de estas vidas. La variación se disminuye al mínimo. Siempre la madera óptima. Siempre la madera óptima. Siempre la madera óptima.

Luego, el leñador es sustituido por máquinas que escanean y deciden cuál es la mejor manera de trabajar con el tronco. La experiencia de quien ha cortado cientos de árboles es sustituida por el ultrasonido y el *software* de evaluación. La intuición es hoy un algoritmo.

LO TEMPORAL

Todo proceso se extiende en el tiempo. Podemos rastrear el inicio de la capilla en el esqueje que fue clonado para ser plantado y volverse árbol. Este devenir presenta diferentes velocidades e intensidades. Plantado, tala, cortado, prensado, «ruteado», izado y transporte son procesos intensos y vertiginosos en la línea de tiempo de un panel de CLT. En el medio están los procesos que el

2. El término refiere al autor Vilém Flusser.

hombre no ha encontrado cómo alterar. Crecimiento y cuidados se hacen a la irremediable velocidad de la naturaleza.

La capilla como hecho arquitectónico, a su vez, es intensa en su materialización. El montaje ocurrió en un día, en el que se movilizaron al menos 2 camiones-grúa, 5 autos y más de 15 técnicos de manera coordinada para conjugar los elementos en su forma definitiva. Un frenesí de concreción que condensa historias materiales en un punto de densidad máxima.

Si extendemos en una línea de tiempo los procesos de la capilla, veremos que la fabricación de los paneles y su montaje representan menos de una milésima del tiempo transcurrido desde el nacimiento del árbol. Dos semanas en mil quinientas.

EL LUGAR

La prefabricación relativiza el lugar como factor determinante de lo construido. Sin embargo, cuando leemos la relación entre los objetos y sus lugares, es claro que existe en cierto nivel una relación indisoluble, una asociación novedosa de procesos que «hacen rizoma»[3] (Deleuze y Guattari, 2006, p.15).

Cada una de las partes de la capilla llegó al sitio desde la península ibérica para adquirir forma final y completar en Sacromonte su existencia. Allí es donde se provoca ese evento, donde los objetos «establecen contacto con un determinado suelo que, inmediatamente, cambiará su condición y les dotará de aquella especificidad que trae consigo la arquitectura» (Moneo, 1995, p.3). Aparece un nuevo par que provoca una «plusvalía de código» (Deleuze y Guattari, 2006, p.15) en un proceso nuevo.

Enfrentarnos de manera optimista y constructiva a la cadena de procesos industriales generadores de elementos arquitectónicos nos dará la pauta de nuevas relaciones productivas y autorales. Nuevas relaciones que cuestionen el *status quo* y nos permitan entrar al futuro sin mirar por el espejo retrovisor (Fiore y McLuhan, 1997) para producir una nueva arquitectura que sea capaz de abrazar la técnica y lo poético además de materializar otros futuros.

3. Deleuze y Guattari (2006) plantean *des* y *re* territorializaciones de pares que generan rizoma. Esto devela, según ellos, que «[a] l mismo tiempo se trata de algo totalmente distinto: ya no de imitación, sino de captura de código, plusvalía de código, aumento de valencia, verdadero devenir, devenir avispa de la orquídea, devenir orquídea de la avispa, asegurando cada uno de esos devenires la desterritorialización de uno de los términos y la reterritorialización del otro, encandenándose y alternándose ambos según una circulación de intensidades que impulsa la desterritorialización cada vez más lejos. No hay imitación ni semejanza, sino surgimiento, a partir de dos series heterogéneas, de una línea de fuga compuesta de un rizoma común que ya no puede ser atribuido ni sometido a significante alguno» (Deleuze y Guattari, 2006, p.15).

Bibliografía

Berardi, F. (2015). Malinche and the End of the World [Malinche y el Fin del Mundo]. En J. Aranda, B. Kuan Wood, A. Vidokle (Eds.), *E-flux journal. The Internet Does Not Exist* (pp. 100-109). Berlín: Sternberg Press.

Claypool, M. (2019). Discrete Automation [Automatización discreta]. *E-flux.* Recuperado de: https://www.e-flux.com/architecture/becoming-digital/248060/discrete-automation/

Deluze, G. y Guattari, F. (2006). *Mil mesetas. Capitalismo y esquizofrenia.* Valencia: Pre-Textos.

Fiore, Q. y McLuhan, M. (1997). *El medio es el mensaje. Un inventario de efectos.* Barcelona: Paidós.

Flusser, V. (2015). *El universo de las imágenes técnicas. Elogio de la superficialidad.* Buenos Aires: Caja Negra.

Moneo, R. (1995). Inmovilidad sustancial. *Circo,* (s.d.), p.3.

Ortega y Gasset, J. (1968). *Meditación de la técnica.* Madrid: El arquero.

Sede CAF región sur

Banco de desarrollo de América Latina

LAPS ARQUITECTOS

Oficina de práctica arquitectónica con base en Montevideo, Uruguay, fundada en el año 2010 por los arquitectos Carlos Labat, Pierino Porta y Nicolás Scioscia. La trayectoria profesional del equipo de LAPS abarca desde lo doméstico hasta la arquitectura de gran escala, actuando en etapas de proyecto, documentación ejecutiva y dirección de obra.

FOTOGRAFÍA: JAVIER AGUSTÍN ROJAS

OBRA	SEDE CAF - REGIÓN SUR, BANCO DE DESARROLLO DE AMÉRICA LATINA.
PROGRAMA	Oficinas para la sede, complejo cinematográfico, bar FunFun, estacionamientos públicos y acondicionamiento del entorno urbano inmediato.
UBICACIÓN	Calle Ciudadela 1229, Montevideo, Uruguay.
MODALIDAD	Concurso nacional de anteproyectos arquitectónicos. Primer Premio. Año 2012.
PERÍODO DE OBRA	2016- 2018
AUTORES	ESTUDIO LAPS ARQUITECTOS: ARQ. CARLOS LUIS LABAT NADAL, ARQ. RICARDO PIERINO PORTA TURBAN, ARQ. NICOLÁS SCIOSCIA SALVATORE + ARQ. LUIS FERNANDO ROMERO FREGENAL.
ASESORES	CÁLCULO DE ESTRUCTURA: MAGNONE - POLLIO INGENIEROS CIVILES. ACONDICIONAMIENTO SANITARIO: ESTUDIO PITTAMIGLIO. ACONDICIONAMIENTO TÉRMICO Y VENTILACIÓN: ING. LUIS LAGOMARSINO & ASOCIADOS. ACONDICIONAMIENTO ELÉCTRICO Y LUMÍNICO: ESTUDIO HOFSTADTER. ACONDICIONAMIENTO ACÚSTICO: ING. MARIO FAUCHER Y ARQ. CAROLINA MANISSE. TENSIONES DÉBILES: ING. LUIS LAGOMARSINO & ASOCIADOS. PROTECCIÓN CONTRA INCENDIOS: ING. LUIS LAGOMARSINO & ASOCIADOS. PAISAJISMO: ING. AGR. PABLO ROSS Y ARQ. IRENE ROSS.
EMPRESA CONSTRUCTORA	STILER S.A.
PRESUPUESTO TOTAL	USD 38.082.400, IMPUESTOS INCLUIDOS. COSTO/m^2: USD 2338. COSTO/m^2 DE ESPACIOS EXTERIORES: USD 350. SUPERFICIE CONSTRUIDA: 15082 m^2 CONSTRUIDOS, 8050 m^2 DE ESPACIOS EXTERIORES.

CRÉDITOS DE IMÁGENES	FOTOGRAFÍA: JAVIER AGUSTÍN ROJAS DRON: FABIÁN SARUBBI
SISTEMA ESTRUCTURAL	MIXTO (HORMIGÓN ARMADO Y PREFABRICADO METÁLICO) SECTOR MERCADO En el sector ocupado por el Mercado Central se reutilizó mayoritariamente la estructura existente, un sistema de pilares y losas casetonadas de doble carpeta con vigas postensadas. En este sector el módulo estructural es de 840 cm x 700 cm. Las intervenciones que se le hicieron a la estructura existente fueron de dos tipos. ▪ REFUERZO ESTRUCTURAL POR CRECIMIENTO EN ALTURA: en este caso se procedió a encamisar con hormigón los pilares existentes. Por otro lado, la parte que creció en altura es metálica para pilares y vigas y en Steel Deck para el caso de la losa. ▪ REFUERZO ESTRUCTURAL POR AUMENTO DE LUZ ENTRE PILARES: en este caso se encamisaron los pilares involucrados y se colocaron perfiles metálicos debajo de las vigas existentes.
SISTEMA ESTRUCTURAL	**SECTOR NUEVO** Todo el sector construido a nuevo se basó en una estructura enteramente de hormigón armado, dividiéndose en dos zonas. ▪ SECTOR SUBSUELOS: pilares de hormigón armado y losas sin vigas. La modulación estructural en este caso es, aproximadamente, de 7,50 m x 6,50 m. En subsuelo el edificio del mercado se reforzó estructuralmente en la zona de intersección entre el sector existente y el nuevo sector. ▪ SECTOR PLANTA BAJA-AZOTEA: en este caso el desafío estructural pasó por el intento de conseguir la menor cantidad posible de pilares en planta mientras se obtenía una caja enteramente de hormigón visto. La solución pasó por definir una caja de hormigón armado para los dos primeros niveles de este sector, donde se ubican las salas de cine. Esta caja apoya en dos grandes pórticos estructurales de hormigón armado que llegan hasta la fundación y fueron definidos de manera diferente según los niveles. En los superiores son paredes de hormigón armado de 35 cm de espesor en las que solo se dejan pases para instalaciones y circulaciones. En la planta baja cada una de estas paredes apoya en dos pilares de 200 cm x 35 cm, uno en cada extremo. Ubicados próximos a cada uno de los lados menores de la caja, colaboran, como sustento de ella, tres apoyos más. Uno es la estructura del ascensor de Cinemateca, otro es el respaldo de la cafetería y el tercero, paralelo a la calle Ciudadela, es el cartel del bar FunFun. En los niveles de subsuelo todo descarga en los pilares del estacionamiento.
CERRAMIENTOS HORIZONTALES INTERMEDIOS	LOSA DE HORMIGÓN ARMADO, CASETONADO DE DOBLE CARPETA Y STEEL DECK
CERRAMIENTO HORIZONTAL SUPERIOR	LOSA DE HORMIGÓN ARMADO, CASETONADO DE DOBLE CARPETA Y STEEL DECK
CERRAMIENTOS VERTICALES OPACOS	HORMIGÓN ARMADO Y PANELES PREFABRICADOS DE HORMIGÓN
CERRAMIENTOS VERTICALES PERMEABLES A LA LUZ	VIDRIO TRANSPARENTE CON CONTROL SOLAR Y VIDRIO TRANSPARENTE SERIGRAFIADO
PROTECCIÓN SOLAR	MALLA ARQUITECTÓNICA DE ACERO INOXIDABLE GKD (MODELO ESCALE 10 X 1,2) Y CELOSÍA MICRO PERFORADA DE ALUZINC HD
PAVIMENTOS	**INTERIORES** ▪ Gres porcelánico fino coloreado en masa, rectificado y pegado sobre contrapiso, de 600 mm x 600 mm. ▪ Escalones y pavimentos interiores de placa granítica monocapa pulida, Compacto Blanco Brillante, de 500 mm x 500 mm x 34 mm. ▪ Pisos elevados interiores con terminación en alfombra modular Milliken color gris. Fibra del bucle en nylon, tipo 6.6 Universal, de 3 mm, sobre bajo alfombra de poliuretano de 2 mm. ▪ Piso de ingeniería de alto tránsito pulible con espesor de capa noble de 3,5 mm.

PAVIMENTOS

EXTERIORES

- Escalones y pavimentos exteriores de placa granítica monocapa pulida, Compacto Blanco y Gris Brillante, ranurado 100 panes, de 500 mm x 500 mm x 34 mm.

CIELORRASOS

INTERIORES

- Sistema de cielorraso registrable de bandejas de aluminio perforado de espesor 0,7 mm con absorbente acústico incorporado. HUNTER DOUGLAS, SISTEMA PLANK HOOK- ON.
- Sistema modular de bandejas de madera aglomerada HR 100 enchapada en madera natural en ambas caras. Hunter Douglas, Natura. 600 mm x 1800 mm x 16 mm (lisas y perforadas).
- Sistema de plafones desmontables Tyle lay In con placas de fibra mineral (tipo Armstrong Optima) de 2' x 4' + luminarias de embutir, especiales para instalación en cielorraso, montadas sobre perfiles 9/16. Hunter Douglas, sistema Quadrolight.
- Sistema de plafones desmontables de fibra mineral. Armstrong Shasta color negro perforado, plafones de 24" x 24" y perfiles 15/16".
- Sistema de bandejas desmontables de metal desplegado de 2' x 2' con perfil Microgrid 9/16". Hunter Douglas, sistema Stretch Metal.

CIELORRASOS

EXTERIORES

- Sistema de cielorraso para exterior de bandejas de aluminio espesor 1 mm. Hunter Douglas, sistema Plank Hook- on, panel XL (lisos y perforados).

INSTALACIONES

En general, todas las instalaciones se consideraron embutidas u ocultas bajo piso técnico o sobre cielorraso salvo las excepciones hechas en áreas técnicas o de estacionamientos, donde las instalaciones son vistas. HVAC, iluminación, potencia, corrientes débiles y detección y protección contra incendio van, en general, sobre cielorraso, pero también hay detección, potencia y corrientes débiles bajo piso elevado.

MEMORIA DESCRIPTIVA

La Sede CAF - Región Sur es el resultado de un concurso nacional de arquitectura promovido por el banco y auspiciado por la Intendencia de Montevideo en el año 2012.

La instalación de la sede se inscribe dentro de una política de reorganización de la institución, convirtiéndose Montevideo en un nuevo nodo donde se concentrarán las funciones que se operen en los países de la región sur de América (Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Paraguay y Uruguay).

El programa incluye oficinas de la sede (auditorio, salas de reuniones, salón comedor, estacionamientos, etc.), un complejo cinematográfico para la Cinemateca Uruguaya, la relocalización del histórico bar FunFun, estacionamientos, vestuarios públicos y acondicionamiento del entorno urbano inmediato.

A partir del reconocimiento de los diferentes requerimientos espaciales y de uso, el edificio se concibió con dos sectores independientes. En la estructura existente se ubicaron las oficinas y espacios propios de la CAF, mientras que en un volumen sobre la calle Reconquista, próximo al Teatro Solís, se dispuso el complejo cinematográfico y el bar Fun-Fun. Entre ambos cuerpos se conformó un patio urbano interno de carácter público.

A continuación se describen las principales características constructivas del edificio:

ESTRUCTURA

En el edificio del ex Mercado Central se utilizó la estructura existente, pero se reforzaron pilares con aumento de carga o luz de pandeo a través de encamisados de hormigón o refuerzos metálicos. En la ampliación sobre el nivel existente y sobre auditorio se utilizó un sistema de vigas metálicas conformadas y cerramiento horizontal tipo Steel Deck. Para el edificio nuevo se dispusieron vigas pared de hormigón armado apoyadas sobre pórticos.

CERRAMIENTOS VIDRIADOS

Se utilizó un sistema de perfilería de aluminio Technal y vidrio DVH compuesto (Sunergy Clear termoendurecido de e = 6 mm + cámara de aire + vidrio templado laminado 4 + 4). En fachada norte, hacia el patio de acceso, se instaló, además, una segunda piel de vidrio templado serigrafiado (e = 10 mm).

PIEL METÁLICA

Como envolvente de todo el edificio se utilizó la malla arquitectónica GKD (modelo Escale 10 x 1,2) de acero inoxidable AISI 316. La malla se tensa mediante «pernos ojo» a una estructura inferior y superior de acero inoxidable AISI 316 con terminación blasting. Para evitar el movimiento de la malla por la incidencia del viento, se instalaron tensores entre costillas verticales de acero inoxidable dispuestas modularmente en correspondencia con la estructura del edificio.

MEMORIA DESCRIPTIVA

CIELORRASOS

En nivel sobre planta baja, tanto para el interior como para el exterior, se utilizó el sistema de bandejas metálicas desmontables Hunter Douglas Plank Hook-on. En los niveles superiores se utilizó, en menor medida, el mismo tipo de cielorraso metálico y, mayoritariamente, un sistema de bandejas de fibra mineral desmontables Hunter Douglas Optima.

REVESTIMIENTOS INTERIORES

En el interior del auditorio, comedor y sectores en niveles de oficina se utilizó revestimiento de madera Hunter Douglas Natura. Los núcleos circulatorios y de baños en cada planta se materializaron como volúmenes revestidos de acero inoxidable con terminación pulido esmerilado. El exterior del auditorio y los interiores de baños tipo están revestidos con vidrio Cover Glasse (e = 6 mm).

CERRAMIENTOS INTERIORES

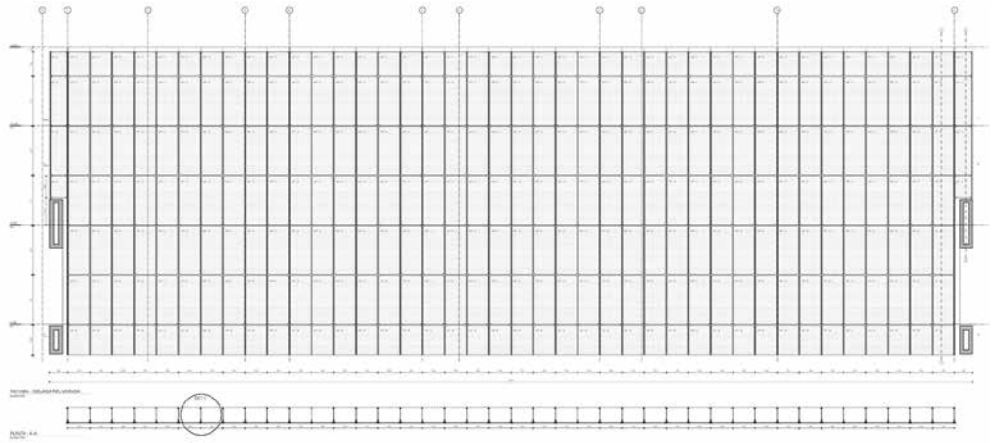
Como mamparas divisorias de oficinas y salas de reuniones se utilizó el sistema Frezza Kristal Evo.

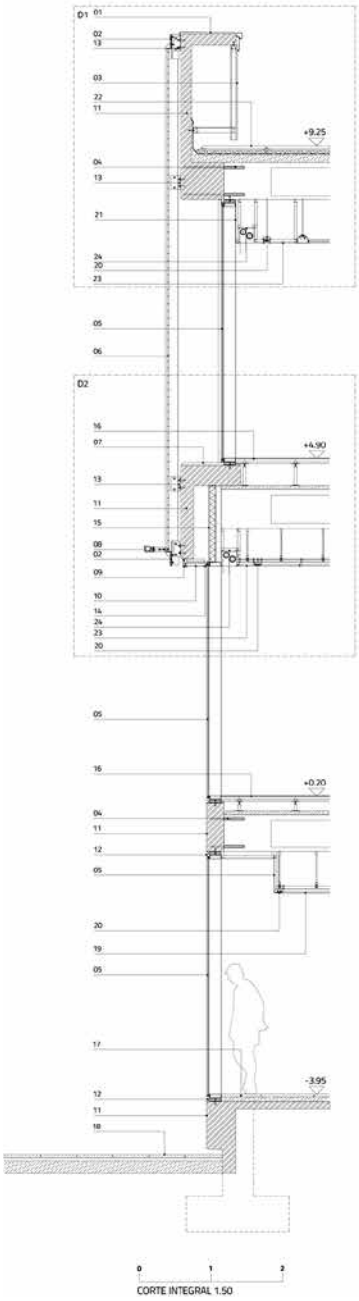
Para el desarrollo del proyecto y ejecución de la obra se tomaron en cuenta aspectos asociados a la sustentabilidad y la eficiencia energética. En este sentido se está en proceso de obtención de la certificación LEED. Los principales aspectos desarrollados en esta línea son:

- alta incidencia en la utilización de materiales regionales o reciclados.
- utilización de sistemas de aire acondicionado y ventilación eficientes. Se instaló un sistema VRF Heat Recovery complementado con un sistema de ventilación con recuperación de calor.
- instalación de iluminación eficiente, mayoritariamente de tipo LED. La iluminación, además, está comandada por un sistema de control que permite regular la intensidad de la iluminación artificial considerando el componente de iluminación natural. En los casos de salas de uso eventual se prioriza el comando mediante sensores de presencia.
- uso racional del agua potable a través de la instalación de grifería eficiente y la implementación de un sistema de captación de aguas pluviales para uso en riego y descarga de inodoros.
- sistema de control centralizado que permite monitorear el estado de los diferentes sistemas y tomar acciones contra el censado de distintos valores. Por ejemplo, es posible medir el consumo de energía por sectores del edificio y aplicar medidas para minimizarlo. Para el caso del riego, se puede detectar si hubo un evento de lluvia y regular el riego en base a ese dato.

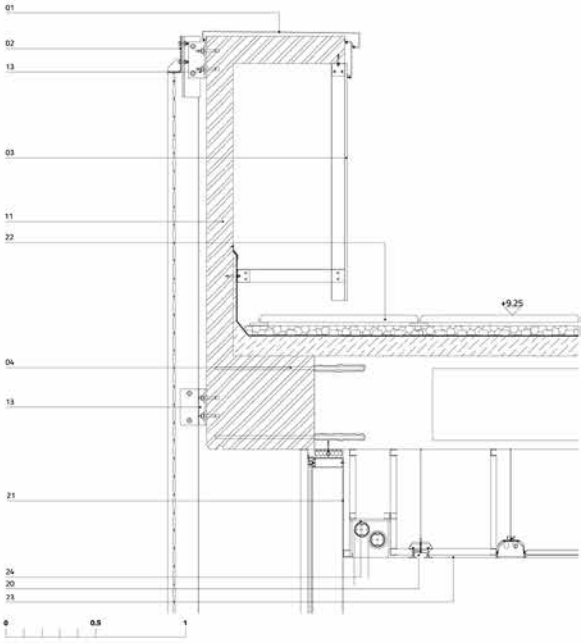
SEDE CAF REGION SUR - BANCO DE DESARROLLO DE AMERICA LATINA
LAPS ARQUITECTOS

SEDE CAF REGION SUR - BANCO DE DESARROLLO DE AMERICA LATINA
LAPS ARQUITECTOS

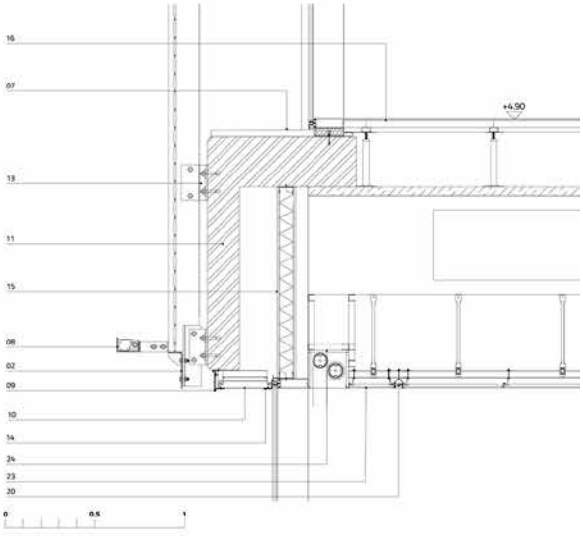




CORTE INTEGRAL 1.50

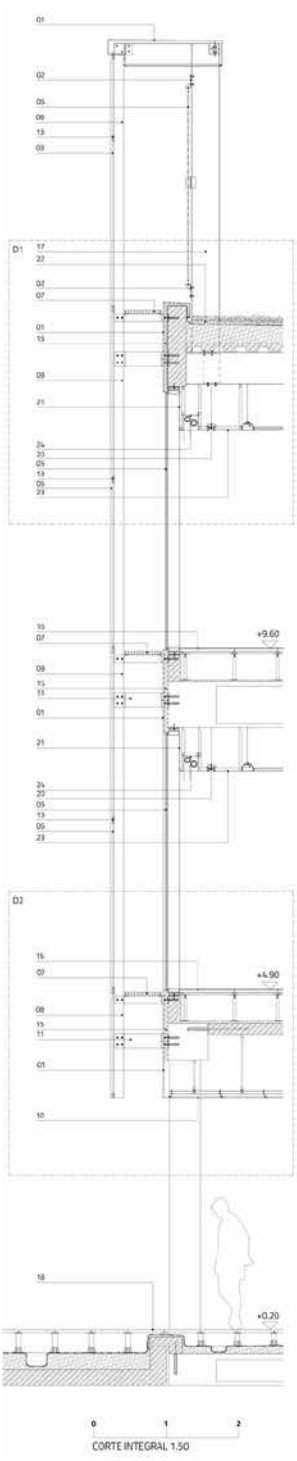


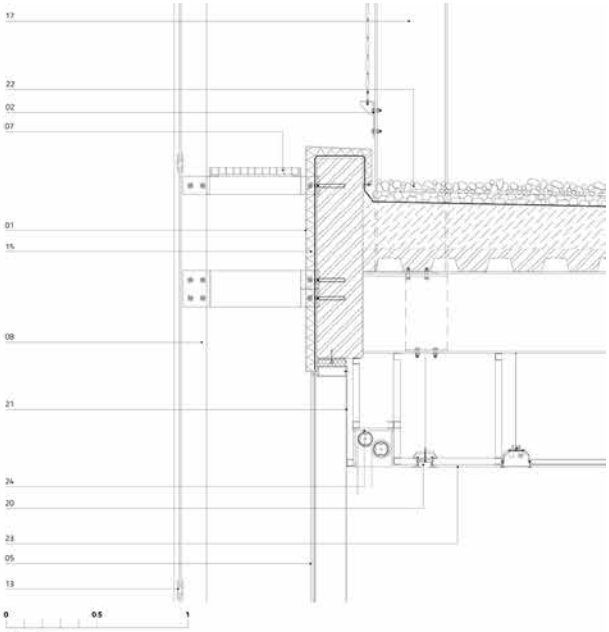
DETALLE 1 1.20

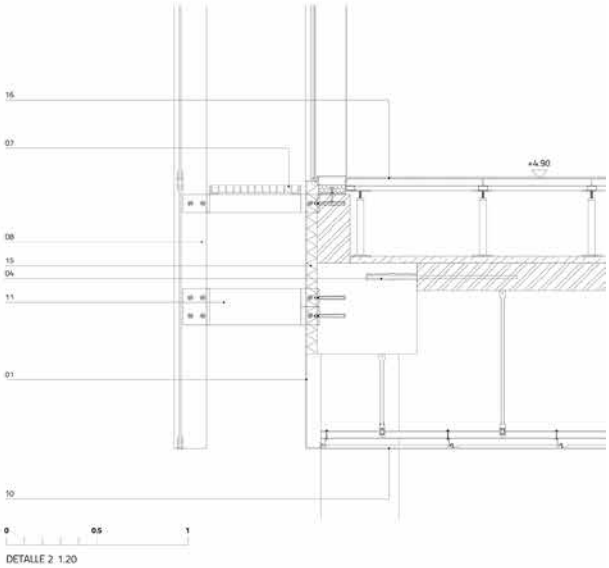


DETALLE 2 1.20

01 CUPERTINA - ALUMINIO COMPUESTO
02 PIEZA DE SUJECIÓN DE MALLA - ACERO INOXIDABLE AISI 316
03 PLACA CEMENTICIA
04 ANCLAJE QUÍMICO A ESTRUCTURA EXISTENTE
05 CURTAIN WALL - PERFIL TECHNAL FM256 - DVH 6 mm SUNERGY CLEAR TERMOENDURECIDO + LAMINADO 4+4
06 MALLA DE ACERO INOXIDABLE GKD ESCALE 10x1.2
07 PASARELA - PORTLAND LUSTRADO
08 SOPORTE LUMINARIA DE FACHADA - PLEGADO DE ACERO INOXIDABLE AISI 316
09 PLEGADO DE ACERO INOXIDABLE AISI 316
10 CIELORRASO METÁLICO HUNTER DOUGLAS PLANK HOOK ON
11 HORMIGÓN ARMADO TERMINACIÓN VISTO
12 PLEGADO DE CHAPA GALVANIZADA Y PINTADA
13 PIEZA DE ANCLAJE DE MALLA - ACERO INOXIDABLE AISI 316
14 PIEZA EN "L" DE ALUMINIO ANODIZADO
15 CIERRE SUPERIOR DE CURTAIN WALL - PLACA CEMENTICIA
16 PISO TÉCNICO CON ALFOMBRA MODULAR
17 MONOLÍTICO BLANCO LISO EN BALDOSAS 50 x 50
18 MONOLÍTICO GRIS 100 PANES EN BALDOSAS 50 x 50
19 CIELORRASO METÁLICO DESMONTABLE HUNTER DOUGLAS PLANK HOOK ON
20 DIFUSOR LINEAL
21 FRENTE DE ALUMINIO COMPUESTO
22 BALDOSONES DE HORMIGÓN 50 x 50 SOBRE EPS AUTOTRABANT
23 CIELORRASO DESMONTABLE HUNTER DOUGLAS OPTIMA
24 CAJON DE CORTINA - PLACA DE ROCA DE YESO







01 CUPERTINA - ALUMINIO COMPUESTO
02 PIEZA DE SUJECIÓN DE MALLA - ACERO INOXIDABLE AISI 316
03 PLACA CEMENTICIA
04 ANCLAJE QUÍMICO A ESTRUCTURA EXISTENTE
05 CURTAIN WALL - PERFIL TECHNAL FM256 - DVH 6 mm SUNERGY CLEAR TERMOENDURECIDO + LAMINADO 4+4
06 MALLA DE ACERO INOXIDABLE GKD ESCALE 10x1.2
07 PASARELA - PORTLAND LUSTRADO
08 SOPORTE LUMINARIA DE FACHADA - PLEGADO DE ACERO INOXIDABLE AISI 316
09 PLEGADO DE ACERO INOXIDABLE AISI 316
10 CIELORRASO METÁLICO HUNTER DOUGLAS PLANK HOOK ON
11 HORMIGÓN ARMADO TERMINACIÓN VISTO
12 PLEGADO DE CHAPA GALVANIZADA Y PINTADA
13 PIEZA DE ANCLAJE DE MALLA - ACERO INOXIDABLE AISI 316
14 PIEZA EN "L" DE ALUMINIO ANODIZADO
15 CIERRE SUPERIOR DE CURTAIN WALL - PLACA CEMENTICIA
16 PISO TÉCNICO CON ALFOMBRA MODULAR
17 MONOLÍTICO BLANCO LISO EN BALDOSAS 50 x 50
18 MONOLÍTICO GRIS 100 PANES EN BALDOSAS 50 x 50
19 CIELORRASO METÁLICO DESMONTABLE HUNTER DOUGLAS PLANK HOOK ON
20 DIFUSOR LINEAL
21 FRENTE DE ALUMINIO COMPUESTO
22 BALDOSONES DE HORMIGÓN 50 x 50 SOBRE EPS AUTOTRABANT
23 CIELORRASO DESMONTABLE HUNTER DOUGLAS OPTIMA
24 CAJON DE CORTINA - PLACA DE ROCA DE YESO

TEXTOS DE TECNOLOGÍA

COMITE EDITORIAL

MARIO BELLÓN

Secretario ejecutivo del Instituto Uruguayo de la Construcción en Seco. Director de la revista técnica *Edificar* y codirector del espacio de exhibición y capacitación Constructiva. Director de la agencia y editorial D+B Comunicación. Codirector del espacio La Columna en Radio Sarandí. Integrante del equipo de difusión de la Federación Panamericana de Asociaciones de Arquitectos.

JUAN JOSÉ FONTANA

Arquitecto (FARQ-UdelaR) y doctor en Diseño Estructural (Universidad de Alicante). Profesor Titular de Estabilidad de las Construcciones I y Profesor Agregado de Estabilidad de las Construcciones IV (FADU-UdelaR). Asesor de estructuras en Taller Articardi (FADU-UdelaR).

JORGE GAMBINI

Arquitecto (FARQ-UdelaR, 1999). Doctorando en Proyecto (UdelaR). Profesor Agregado del Instituto de la Construcción y Profesor Adjunto del Taller Velázquez (FADU-UdelaR). Integrante del equipo curatorial del pabellón uruguayo en la XIV Bienal de Arquitectura de Venecia. Finalista del premio Oscar Niemeyer 2018. Director de Enciam. Autor de diversos escritos y artículos.

CLAUDIA VARIN

Arquitecta (FARQ-UdelaR, 2014). Docente Ayudante del Instituto de la Construcción (FADU-Udelar). Integrante del comité editorial de la revista Textos de Tecnología e integrante del equipo de trabajo Urnario Municipal. Integrante del proyecto FADU en Casavalle, prácticas en territorio (FADU-UdelaR). Docente del Instituto de Enseñanza de la Construcción (UTU-CETP), donde dicta el curso Laboratorio I+D. Coordinadora del taller Construcción Natural, Módulos Socioeducativos (MEC).

VIVION®

MATERIALES PARA OBRA SECA

MATERIALES ELÉCTRICOS CON DISEÑO Y DESARROLLO ESPECÍFICO PARA CONSTRUCCIÓN EN SECO

TABLEROS DE MONTAJE

TABLERO 24 MÓDULOS DIN

TABLERO 12 MÓDULOS DIN

CAJA ESTANCA PARA YESO IP40

CAÑOS CORRUGADOS

CAÑO VERDE: NO PROPAGADOR DE LLAMA
Recomendado para construcción en seco.

CAJAS DE MONTAJE

MONTAJE SOBRE PERFILES METÁLICOS

MONTAJE SOBRE PLACA DE YESO O TABIQUE DE MADERA

CAJA PARA PISO

CAJA TELESCÓPICA CON TAPA METÁLICA DESMONTABLE PARA 8 MÓDULOS

PLAQUETAS

duomo FLAT

Loft.

duomo

Presta

MATERIALES ELÉCTRICOS
CONATEL

Productos certificados por UNIT y aprobados por URSEA.

www.vivionelectric.com

PERFILES PARA SISTEMAS DE CONSTRUCCIÓN EN SECO

Suministro de perfiles para Steel Framing.
-Fabricación de perfiles.
-Documentación técnica del panelizado.
-Asesoramiento técnico.

Suministro de perfilería para Drywall, para tabiques, revestimientos y cielorrasos en el interior de edificios.

ARMCO

Este símbolo marca la diferencia

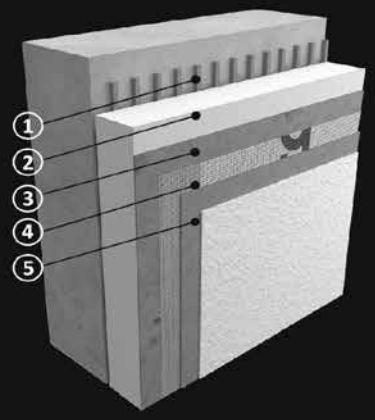
+598 2222 3223
www.armco.com.uy

BARBIERI
Elegí crecer
SOLUCIONES
CONSTRUCTIVAS
PARA OBRAS
SUSTENTABLES
CONSTRUIMOS
SUSTENTABLE
SOLUCIONES PARA
CONSTRUCCIÓN
EN SECO
SOLUCIONES PARA
TERMINACIONES
SOLUCIONES PARA
ABERTURAS
barbieriuruguay.com.uy

GBS
CONSTRUCCIONES

EIFS - Sistema Térmico Exterior

(Exterior Insulation Finish Systems)



Es un sistema de aislación de fachadas que funciona a través de la superposición de 5 pieles:

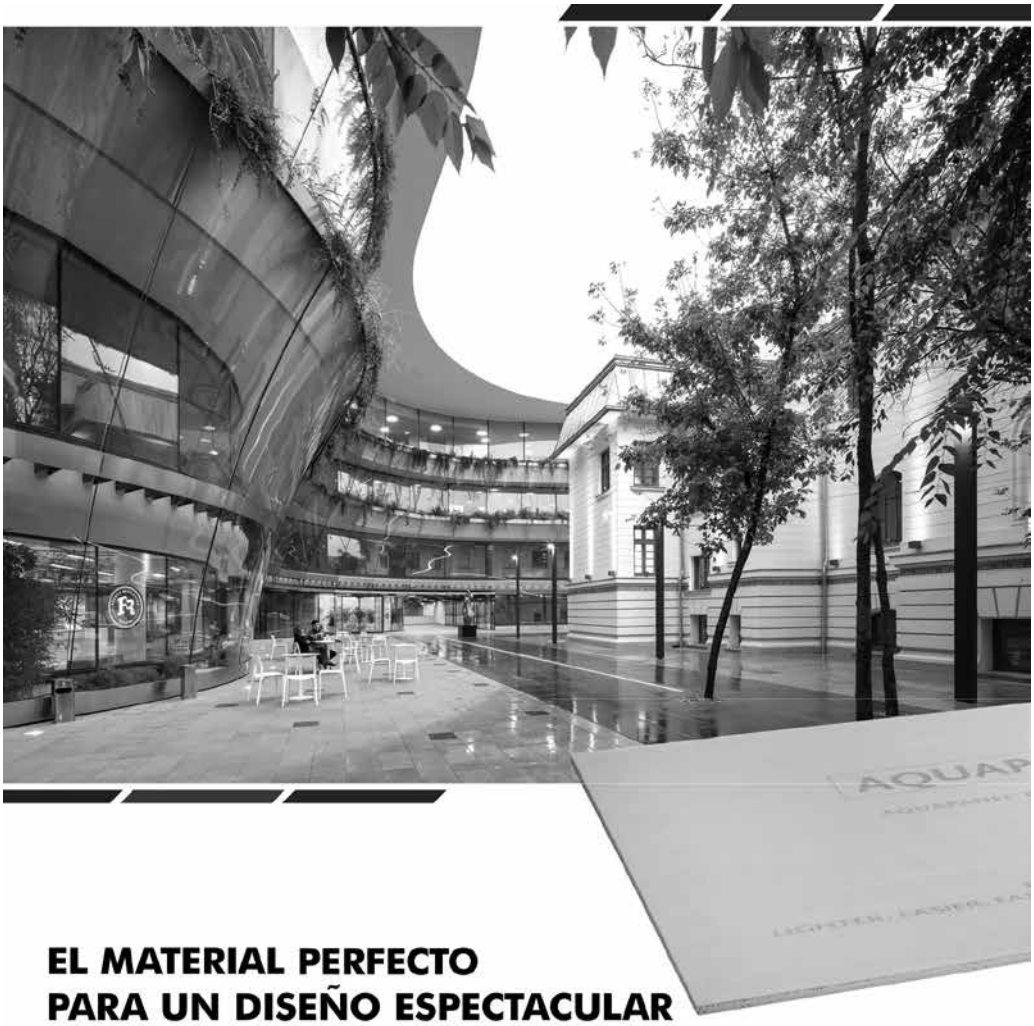
1- Fijación: Mortero adhesivo Basecoat: fijación para el material aislante.
2- Capa aislante: Panel aislante de EPS Tipo II.
3- Capa impermeabilizante: Basecoat, genera la capa resistente a la humedad y permeable al vapor.
4- Malla de refuerzo: permite que el sistema resista correctamente a impactos, a las condiciones climáticas, y a otros estímulos externos.
5- Capa exterior de terminación: puede elegirse dentro de un amplio espectro de revestimientos, pinturas, texturas y otros acabados.

Posee una gran capacidad de aislamiento ya que se trata de una protección continua de aislación alrededor de la casa o edificio. De esta manera se logra la eliminación de los puentes térmicos que se producen a través de los montantes u otros elementos estructurales.

Algunos de los beneficios son: eficiencia energética superior, sustentabilidad de la pared, flexibilidad de diseño y el peso ligero del Sistema.

Dr. Mario Cassinoni 1027 | Montevideo - Uruguay
Tel.: (+598) 2409 10 71 | gbs@gbs.com.uy
www.gbs.com.uy |

GBS
CONSTRUCCIONES



EL MATERIAL PERFECTO PARA UN DISEÑO ESPECTACULAR

AQUAPANEL *Cement Board Outdoor* es una placa de cemento reforzado por una malla de fibra de vidrio, para sistemas de fachadas.
Su composición inorgánica resistente a la humedad, impide la proliferación de moho y hongos bajo certificación IBR.
Su clasificación de resistencia al fuego es incombustible - Clase A1.

Su avanzada tecnología le otorga alta flexibilidad permitiendo diseños curvos y fachadas continuas sin juntas visibles.

AQUAPANEL®
Cement Board Universal

KNAUF

MC3

Importa y distribuye en Uruguay MC3 - Impamerica S.A.
Dra. María L. Saldún de Rodríguez 2383, tel.: 2601 4155 - www.mc3.com.uy