

Fabricación digital y aprendizaje significativo: reinterpretar una obra para aprender arquitectura desde el hacer

Adriana Isabel **Farfán Giacomán**

Universidad Católica Boliviana • **Bolivia**

afarfan@ucb.edu.bo

 <https://orcid.org/0009-0005-2060-333X>

Resumen

Este escrito presenta una experiencia pedagógica desarrollada en el curso de Fabricación Digital de la carrera de arquitectura en la Universidad Católica Boliviana "San Pablo" sede Cochabamba, durante el semestre 1/2025. El proyecto, desarrollado como un ejercicio académico experimental correspondiente al trabajo final integrador, tuvo como propósito articular la fabricación digital, la experimentación material y la reflexión proyectual en la formación arquitectónica. El ejercicio principal, consistió en abstraer un proyecto desarrollado en otro contexto (el pabellón "Exoskeleton" (2017) de la universidad de Gante) para reinterpretarlo y recrearlo a escala 1:1 en el contexto local, explorando los límites materiales, técnicos y pedagógicos propios de la realidad. A través del trabajo colectivo, los veintitrés estudiantes del curso aplicaron las tres tecnologías disponibles, Corte laser, impresión 3D y fresadora CNC. El propósito central fue demostrar que la arquitectura se aprende observando, analizando, y sobre todo haciendo; que la experiencia directa, con el material y la construcción constituye un medio esencial del aprendizaje proyectual. Los resultados evidencian que la fabricación digital, cuando se integra a la enseñanza proyectual, fomenta la creatividad, el trabajo colectivo y la comprensión material de la arquitectura, especialmente en contextos latinoamericanos y específicamente en el boliviano.

Palabras clave: *Fabricación digital, Aprendizaje proyectual, Pedagogía experimental, Método proyectual, Diseño paramétrico, Arquitectura latinoamericana.*

Abstract

This paper presents a pedagogical experience developed in the Digital Fabrication course of the Architecture program at the Bolivian Catholic University "San Pablo," Cochabamba campus, during the first semester of 2025. Conceived as an experimental academic exercise corresponding to the final integrative project, its purpose was to articulate digital fabrication, material experimentation, and project-based reflection within architectural education. The exercise consisted of abstracting a project developed in another context, the Exoskeleton pavilion (2017) from Ghent University, to reinterpret and reconstruct it at a 1:1 scale in the local setting, exploring the material, technical, and pedagogical limits of our context. Through collaborative work, the twenty-three students of the course applied the three technologies available at the university: laser cutting, 3D printing, and CNC milling. The central purpose was to demonstrate that architecture is learned by observing, analyzing, and by doing; that direct experience with material and construction becomes an essential medium for project-based learning. The results show that digital fabrication, when integrated into architectural design teaching, fosters creativity, collaboration, and material understanding in Latin American contexts, particularly within the Bolivian environment.

Keywords: *Digital fabrication, project-based learning, experimental pedagogy, projective method, parametric design, Latin American architecture.*

Introducción

En la enseñanza contemporánea de la arquitectura, el aprendizaje significativo se potencia cuando la acción y la comprensión se articulan en un mismo proceso formativo. Desde una perspectiva activa, el taller se consolida como un espacio de pensamiento proyectual donde la acción manual no es meramente operativa, sino productora de conocimiento. En efecto, como plantea Cárcamo, al hacer con las manos se activa "una forma de pensamiento que acontece en el hacer: una inteligencia de la mano que, al accionar, genera conocimiento arquitectónico" (Cárcamo, 2021: 1483).

La fabricación digital amplía este escenario al vincular modelado, simulación y producción material, permitiendo que la idea se comprenda a través de la experimentación y sus resultados.

El curso de Fabricación Digital, desarrollado en la Universidad Católica Boliviana "San Pablo", sede Cochabamba, durante el semestre I/2025, propuso explorar la relación entre teoría y práctica mediante la recreación crítica de una investigación proyectual, el Exoskeleton Pavilion (Van Dousselaere & Van Geeteruyen, 2017), desarrollado en la Universidad de Gante, Bélgica. Este proyecto, concebido como un estudio empírico sobre el diseño estructural "bottom-up", planteaba que la forma arquitectónica emergiera desde la experimentación material y el prototipado iterativo, en lugar de derivarse de un modelo digital predefinido. Inspirado por este enfoque, el taller buscó reinterpretar los principios geométricos, estructurales y pedagógicos del pabellón a partir de las condiciones materiales, tecnológicas y logísticas locales. Con la participación de veintitrés estudiantes, la experiencia se consolidó como un ejercicio de investigación proyectual situada, donde las limitaciones de recursos se transformaron en oportunidades para el aprendizaje significativo. En coherencia con las reflexiones recientes sobre la pedagogía proyectual latinoamericana, esta experiencia reafirma que el conocimiento arquitectónico se construye en la acción, a través de la experimentación, el error y la reflexión crítica sobre el hacer

El proyecto académico, denominado "Exoestructura"¹, permitió a los estudiantes articular diseño paramétrico, experimentación material y fabricación asistida por computadora para comprender la arquitectura desde su estructura interna. Tal como sostiene Moskovits (2022 "el despiece, entendido como práctica proyectual, permite reconocer las operaciones que organizan la forma, más allá de la apariencia de la obra terminada. Descomponer es una forma de pensar la arquitectura desde su estructura interna" (Moskovits, 2022, p. 85). En este ejercicio, recrear la obra no implicó copiarla, sino repensarla críticamente, adaptando sus principios constructivos al contexto boliviano. Desde este contexto, el taller de fabricación se concibió como un espacio

¹ "Exoestructura" fue el nombre otorgado colectivamente por los estudiantes del curso Fabricación Digital (UCB Cochabamba, semestre I/2025) al proyecto académico, en referencia a la reinterpretación del Exoskeleton Pavilion de la Universidad de Gante. El término enfatiza la dimensión estructural y experimental del trabajo, entendida como una "estructura exterior" que sostiene tanto la forma física como el proceso de aprendizaje.

colaborativo de mediación entre tecnología y pedagogía, donde la fabricación digital se utilizó no como fin, sino como medio para pensar el diseño desde la acción. La práctica, la reflexión y el trabajo colectivo se articularon como componentes inseparables del aprendizaje. En este sentido, el curso reafirma que aprender arquitectura en contextos latinoamericanos exige metodologías situadas, capaces de transformar la limitación en oportunidad y la experimentación en conocimiento.

1. Desarrollo y argumentación teórica

1.1 Fase de investigación proyectual

El desarrollo del taller comenzó con una etapa de investigación y análisis del proyecto de referencia, el Exoskeleton Pavilion (2017), desarrollado en la Universidad de Gante, Bélgica. El objetivo de esta fase inicial fue comprender los principios geométricos, estructurales y materiales que sustentaban la propuesta original, así como reconocer las condicionantes contextuales que podrían reinterpretarse en el marco local de Cochabamba y dentro de las capacidades tecnológicas de la Universidad Católica Boliviana (UCB).

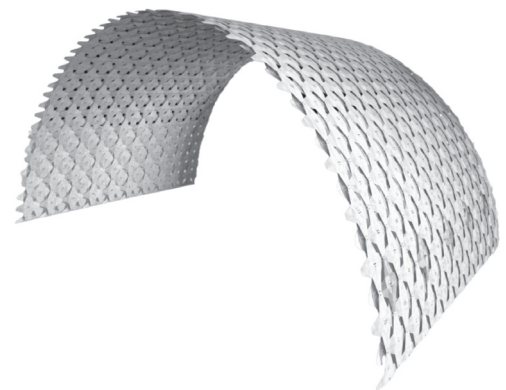
El grupo de ocho estudiantes encargado del uso de la tecnología de corte láser asumió la tarea de examinar la documentación del proyecto, revisando la tesis académica disponible, los esquemas de detalle, los diagramas de montaje y la fundamentación teórica del estudio. Posteriormente, debían explicar al resto de los compañeros todos los datos analizados, con el propósito de compartir los hallazgos y socializar el conocimiento obtenido. Este proceso de lectura y análisis permitió identificar que la estructura original se basaba en una lógica de componentes únicos y no repetitivos, cuya curvatura variable generaba una envolvente esférica. El objetivo era coherente con laboratorios dotados de equipamiento avanzado, sin embargo, resultó poco viable en el laboratorio universitario local, tanto por la disponibilidad de materiales y maquinaria como por el espacio reducido para la fabricación y ensamblaje. A ello se sumó una carga horaria limitada (cuatro periodos semanales concentrados en una sola jornada) que exigió planificar el trabajo con gran precisión y promover una intensa coordinación entre los grupos de estudiantes.

Por lo tanto, se propuso un cambio metodológico, transformar la geometría esférica en una estructura lineal, capaz de conservar el criterio de repetición modular, pero reduciendo la singularidad de las piezas. El nuevo enfoque, concebido como túnel, habilitó la generación de una secuencia espacial de ritmo constante, que mantuvo la lógica de continuidad y recorrido sin exigir piezas únicas. Esta decisión operó como puente entre la lectura crítica del referente y la definición de una estrategia factible en términos de fabricación, logística y tiempo académico. En términos pedagógicos, la fase de investigación se convirtió en una instancia de alfabetización crítica en fabricación digital. Más que

Figura 01

Render del pabellón Exoestructura (modelo académico UCB)

Elaboración propia. Curso Fabricación Digital, Universidad Católica Boliviana "San Pablo", Cochabamba (2025).



copiar un modelo, se interpretó y se reescribió a partir de restricciones reales, dando lugar a una experiencia auténticamente situada.

Esta reinterpretación metodológica dio lugar a un enfoque pedagógico inscrito en una perspectiva latinoamericana, orientado a repensar la enseñanza de la fabricación digital desde sus medios y recursos locales. El análisis del referente se integró con una traducción tecnológica y material que demostró que el aprendizaje no depende exclusivamente de la disponibilidad de maquinaria, sino de la capacidad crítica para adaptar procesos. De este modo, el trabajo de investigación se transformó en una serie de decisiones proyectuales basadas en la lógica del despiece, la parametrización, la iteración y la verificación empírica.

1.2. Abstracción y formulación del módulo

La segunda fase se orientó a la abstracción geométrica del sistema estructural. Partiendo de la idea de convertir la cúpula original en un túnel lineal, el equipo de estudiantes definió un módulo repetible que, ensamblando de manera sucesiva, conformaría la estructura completa. El trabajo inició con el despiece analítico del referente para identificar relaciones proporcionales entre los elementos, ritmos de curvatura, límites de flexión y puntos críticos de unión. Esta estructura se traslada a un entorno paramétrico (Rhino y Grasshopper), en el que variables como la luz, altura, ancho de pieza, ángulos de encuentro y número de repeticiones quedaron expresadas como parámetros controlables. Esta operación no solo permitió prever el comportamiento geométrico del conjunto, sino también anticipar consecuencias de fabricación, tales como la organización de piezas en láminas estándar para una optimización del material disponible.

En términos pedagógicos, la abstracción de la estructura actuó como un dispositivo de comprensión, al descomponer para entender y volver a componer para proyectar. En sintonía con la noción de "despiece" como lo denomina Moskovits (2022), el equipo reconoció que fragmentar no significa descomponer arbitrariamente, sino acceder al orden interno de la obra para convertirlo en material operativo del proyecto (pp. 43–45). La formulación del módulo base se constituyó así en un acto de síntesis operativa, es decir, en una única pieza se condensaron decisiones de orden geométrico (curvatura y espesor), constructivo (ancho de pestañas, tolerancias de encastre y rigidez) y pedagógico (viabilidad de fabricación por turnos, seguridad y tiempos de montaje en el laboratorio).

La discusión sobre el tamaño del módulo incorporó criterios de economía y de ergonomía. Por otro lado, se atendió a la estabilidad utilizando módulos excesivamente pequeños que producían curvaturas que, si bien eran expresivas, dificultaban la continuidad y rigidez del montaje y la transmisión de esfuerzos; módulos demasiado grandes perdían flexibilidad y exigían esfuerzos. El ancho en torno a cuarenta centímetros emergió como equilibrio aceptable entre economía de material, velocidad de corte, manipulación segura y estabilidad global. En paralelo, se evaluaron materiales, se ensayó triplex en capas, cartón prensado y, finalmente, madera venesta², que ofreció mejor relación resistencia-peso y comportamiento en el corte.

La parametrización fue decisiva para gestionar estas decisiones. Al vincular el diseño a variables ajustables, se habilitó un protocolo de prueba rápida, donde cambios mínimos en el espesor, el material, la forma de las pestañas, las holguras de encastre o la separación entre módulos podían verificarse en prototipos físicos a pequeña escala antes de pasar al corte a escala 1:1. El modelo paramétrico funcionó como una interfaz cognitiva entre la idea y la materia.

² Se denomina "venesta" a un tablero contrachapado compuesto por láminas delgadas de madera unidas con adhesivos resistentes.

1.3. Iteración, prueba y error como método

Posteriormente, con el módulo definido se inició un ciclo de iteración³ técnica que combino prototipos a escala, ajustes digitales y verificaciones de montaje. En una primera instancia se cortaron a escala reducida para testear la continuidad geométrica y, en particular, para medir tolerancias de encastre en función del "kerf"⁴ propio del láser y de las variaciones del material como el espesor y la flexión. Se detectó que las holguras ideales del modelo digital requerían, en la práctica, correcciones del orden de décimas de milímetro: el corte no es un trazo sin espesor, y la madera responde con micro deformaciones que se amplifican al ensamblar varias unidades. Estas desviaciones, lejos de ser un problema únicamente técnico, se convirtieron en un contenido pedagógico explícito sobre la relación entre precisión digital y realidad material.

La segunda tanda de prototipos introdujo ajustes en pestañas, ranuras y radios de curvatura efectiva. Se ensayaron además variantes en el patrón de encastre para mejorar la transferencia de cargas y reducir la tendencia a la torsión. Al pasar a tamaño real se estableció un protocolo de control que consistía en la verificación de perpendicularidad en ranuras, clasificación y etiquetado de piezas, y ensayo de uniones con distintos amarres. En un primer momento se optó por hilo o lana, que ofrecía flexibilidad y rapidez, pero se observó que la estructura admitía deformaciones excesivas bajo cargas puntuales. La sustitución por precintos plásticos aportó rigidez y uniformidad al amarre sin sacrificar velocidad de montaje, logrando un comportamiento global más estable. La decisión material se justificó por evidencias recogidas en el taller, fortaleciendo la comprensión de que las uniones son un problema tanto técnico como pedagógico, en ellas se hace visible la relación entre diseño y construcción.

El método de prueba y ajuste continuo permitió construir memoria proyectual. Cada equipo registró hipótesis, resultados y correcciones en las bitácoras del taller, favoreciendo la toma de decisiones fundamentadas. En esta dinámica, la fabricación digital operó como herramienta cognitiva, más que como mero recurso técnico. En línea con el concepto de manujaje, entendido como un saber que se expresa en la acción corporal, Cárcamo sostiene que "el manujear es una forma de pensamiento que acontece en el hacer: una inteligencia de la mano que, al accionar, genera conocimiento arquitectónico" (Cárcamo, 2021: 1483). El error, lejos de ser un obstáculo, se transformó en un umbral metodológico que habilita nuevas conjeturas, nuevas piezas y un sistema constructivo cada vez más sólido.

1.4. Materialidad y logística de fabricación

La definición de materialidad y la logística de fabricación constituyeron el soporte operativo del proceso. Se establecieron planillas de corte con criterios de organización para aprovechar al máximo cada plancha de venesta, reduciendo desperdicio y tiempos de máquina. La estandarización del módulo facilitó el ordenamiento de piezas y el cálculo

Figura 02

Ensamble experimental del módulo base inicial

Elaboración propia. Curso Fabricación Digital, Universidad Católica Boliviana "San Pablo", Cochabamba (2025).

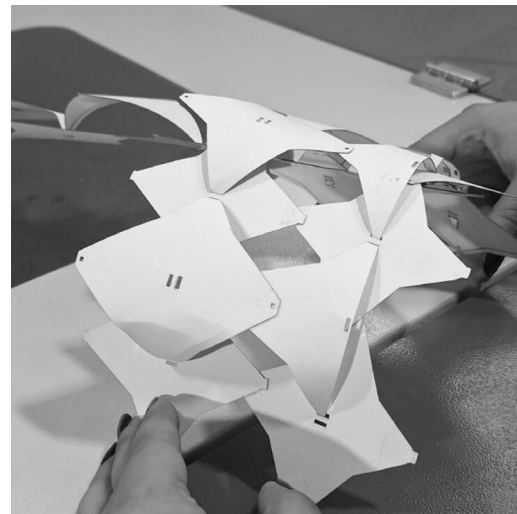
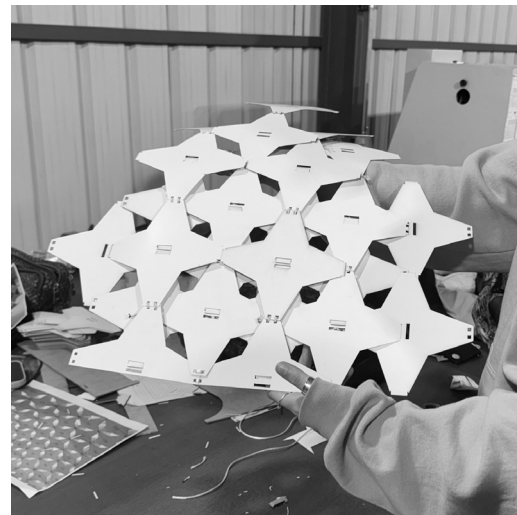


Figura 03

Prototipo ajustado del módulo estructural

Elaboración propia. Curso Fabricación Digital, Universidad Católica Boliviana "San Pablo", Cochabamba (2025).



³ En el contexto del diseño digital, "iteración" se refiere al proceso de repetición y ajuste sucesivo de un modelo para optimizar su comportamiento o resultados.

⁴ El término "kerf" hace referencia al espesor del material eliminado por la herramienta de corte (láser o fresa) durante el proceso de fabricación digital.

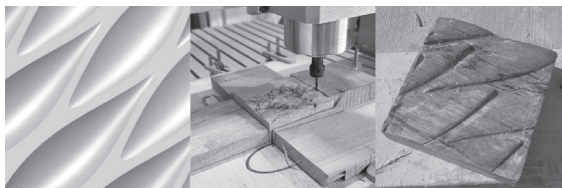
Figura 04
Testeo de materialidad entre triplex y cartón prensado para evaluar comportamiento estructural y precisión de corte.

Elaboración propia. Curso Fabricación Digital, Universidad Católica Boliviana "San Pablo", Cochabamba (2025).



Figura 05
Secuencia del proceso de fabricación: modelo digital, fresado CNC y bloque tallado

Elaboración propia. Curso Fabricación Digital, Universidad Católica Boliviana "San Pablo", Cochabamba (2025).



de rendimientos por plancha. En paralelo, se diseñó un sistema de codificación y etiquetado para identificar piezas en el taller de montaje, minimizando pérdidas. Estas decisiones, aunque discretas, tuvieron un impacto directo en la eficiencia del proceso y, por tanto, en el aprendizaje. Los estudiantes reconocieron que el diseño incluye decisiones de producción y de logística que condicionan la viabilidad del objeto arquitectónico.

Al mismo tiempo se desarrollaron protocolos básicos de seguridad, manipulación y mantenimiento de equipos, vinculando la práctica de taller con responsabilidades propias del ejercicio profesional. El equipo ajustó parámetros de corte, limpieza de lentes y control de planicidad de la mesa para mantener la calidad. Del mismo modo, con los otros grupos se consideraron los mismos protocolos; con la fresadora se verificaron fijaciones y alturas de trabajo, en impresión 3D se revisó nivelación y adherencia de base. Estas operaciones rutinarias, habitualmente invisibles, formaron parte del contenido didáctico y reforzaron la idea de que el dominio de la fabricación digital incluye hábitos, cuidados y criterios.

El contexto boliviano condicionó todas estas decisiones. La disponibilidad intermitente de insumos obligó a planificar con anticipación y a ensayar alternativas equivalentes cuando un material no estaba asegurado. La economía de recursos motivó el uso estratégico de retazos para piezas menores y plantillas de control. La experiencia de compra local reveló variaciones en la calidad y humedad de la madera, que afectaron ligeramente el comportamiento en el corte y el encastre. Estas condiciones, lejos de ser limitaciones, se transformaron en parte del aprendizaje proyectual situado, evidenciando que la fabricación digital en contextos locales requiere tanto precisión técnica como adaptabilidad creativa.

1.5. Ensamblaje, secuencia y estabilidad global

El montaje del pabellón se organizó en secuencias de armado que buscaron equilibrar control geométrico y eficiencia operativa. Se reconocieron cuatro subconjuntos principales: la base longitudinal que definía el eje del túnel, los aros intermedios dispuestos a intervalos regulares, los diafragmas transversales que limitaban torsiones, y un cierre superior que actuaba como arriostramiento final. Esta secuencia, más que lineal, fue adaptativa: las observaciones en el proceso obligaron a introducir correcciones locales y ajustes finos de las uniones para conservar la continuidad formal y la estabilidad general.

Se construyeron útiles de montaje sencillos –plantillas de separación y calas de nivelación– que permitieron mantener la precisión en las distancias y la perpendicularidad entre piezas sin requerir instrumental sofisticado. Este recurso transformó el taller en un espacio de control geométrico accesible, demostrando que la exactitud

no depende de la tecnología avanzada, sino del criterio y la atención al proceso. La estabilidad global del pabellón se entendió como el resultado de la cooperación entre geometría, material y uniones, y se verificó mediante pruebas empíricas simples, suficientes para validar la coherencia del sistema estructural.

El cierre del montaje coincidió con la consolidación de una dinámica de trabajo colectivo. Mientras un grupo verificaba la estabilidad estructural de la obra principal, otros avanzaban en procesos paralelos de experimentación material, empleando herramientas de fresado CNC e impresión 3D. Esta simultaneidad respondió a la intención pedagógica de comprender la fabricación digital como un sistema interrelacionado de prácticas, donde cada tecnología amplía y complementa las otras.

1.6. Procesos paralelos con fresadora CNC e impresión 3D: moldes, contra moldes y celosías

Por otro lado, y en paralelo al desarrollo del pabellón, cabe destacar el trabajo de los grupos encargados de la fresadora CNC y la impresión 3D. Quienes exploraron la producción de moldes y celosías de yeso. El proceso combinó modelado digital, fabricación de moldes mediante tecnologías de control numérico, y vertido de material para obtener paneles con relieve. La primera etapa de experimentación permitió comprender la influencia del diseño paramétrico sobre la morfología del molde y la calidad de las texturas resultantes, mientras que las siguientes se centraron en optimizar el desmolde y la repetición controlada.

Desde el punto de vista didáctico, estos ejercicios ofrecieron un campo complementario para discutir la relación entre precisión digital y comportamiento físico de los materiales. Los estudiantes observaron que las decisiones de modelado (profundidades, geometrías o tolerancias) debían adaptarse a la realidad del material, al tiempo de fraguado y a las condiciones del taller de fabricación. La experiencia promovió la comprensión de la fabricación digital como un proceso sensible, donde el pensamiento abstracto del diseño se confronta con la respuesta concreta de la materia.

La integración de estas líneas no fue tangencial ni decorativa. Al compartir la lógica de modelado paramétrico y control de tolerancias, los grupos descubrieron que las estrategias utilizadas en el pabellón (modularidad, etiquetado y precisión en el ensamblaje) podían transferirse con éxito a la producción de moldes. Esta transferencia de saberes consolidó la idea central del curso: la fabricación digital no se limita a operar máquinas, sino que constituye un marco de pensamiento que vincula concepción, proceso y construcción.

1.7. Documentación, evaluación y mejora continua

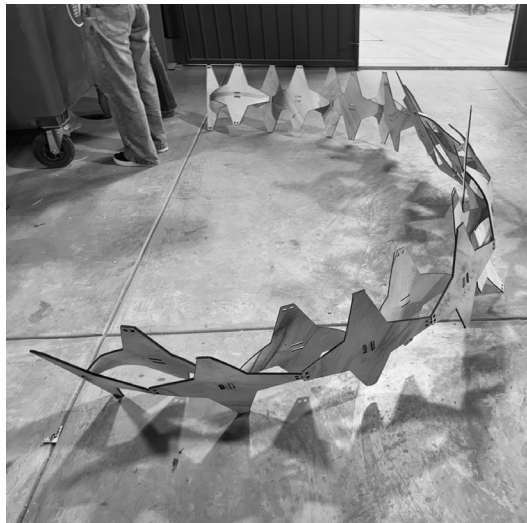
El taller incorporó una estrategia de documentación sistemática a través de bitácoras, registros fotográficos y almacenamiento ordenado de archivos digitales. Esta práctica buscó dos objetivos, por un lado, construir memoria de proyecto y trazabilidad de decisiones; por otro, habilitar espacios de evaluación formativa donde la evidencia sustentara la discusión. Los estudiantes consignaron hipótesis, resultados intermedios, dificultades, aciertos y pendientes, de modo que cada revisión semanal contara con insumos verificables y no dependiera de impresiones generales.

Se aplicaron rúbricas de evaluación que consideraban criterios de diseño (coherencia del sistema y legibilidad del módulo), de fabricación (optimización de material, precisión y limpieza de corte), de montaje (orden, seguridad y tiempos), y de reflexión (capacidad de argumentar decisiones y detectar márgenes de mejora). El uso de rúbricas reforzó la transparencia de los criterios y permitió al estudiantado orientar sus esfuerzos hacia metas claramente definidas. Al mismo tiempo, sirvió para visibilizar la importancia del trabajo colaborativo y del compromiso con la calidad del proceso.

Figura 06

Ensamble y levantamiento parcial del pabellón Exoestructura (primer arco construido).

Elaboración propia. Curso Fabricación Digital, Universidad Católica Boliviana "San Pablo", Cochabamba (2025).



En el cierre del taller de fabricación se promovió una sesión de evaluación colectiva a pie de obra, donde se analizaron desempeño espacial, accesibilidad, resistencia percibida, y potencial de replicabilidad del sistema en otros escenarios. Surgieron propuestas de mejora, como incorporar arriostramientos longitudinales discretos o explorar combinaciones materia-ensamble alternativas, que quedaron registradas como base para iteraciones futuras. Esta instancia de evaluación in situ permitió enlazar apreciaciones técnicas con reflexiones sobre uso, mantenimiento y desmontaje responsable.

1.8. Proceso constructivo en contexto boliviano.

El conjunto del proceso (investigación, abstracción, iteración, logística de fabricación, ensamblaje y evaluación) configuró una experiencia auténtica de aprendizaje proyectual en contexto boliviano. La limitación de recursos no se vivió como carencia, sino como motor de creatividad y como condición que exigió decisiones informadas. La estandarización de piezas, el control de tolerancias y la economía de material obedecieron tanto a razones técnicas como a convicciones pedagógicas, aprender a proyectar desde la realidad implica reconocer los costos, los tiempos y la responsabilidad sobre la materia.

En términos teóricos, el taller evidenció la convergencia de tres dimensiones. Primero, la continuidad entre mano y máquina, en la línea de Cárcamo (2021) interpretando que el hacer, aun mediado por el dispositivo digital, conserva su carácter cognitivo y artesanal. Segundo, el despiece como forma de comprensión proyectual (Moskovits, 2022), que permitió desarmar para entender y rearmar para construir sentido. Tercero, la adaptabilidad metodológica propia del diseño paramétrico permitió gestionar variables sometidas a verificación empírica constante, al posibilitar ejecuciones sucesivas del modelo y ajustes iterativos según los resultados obtenidos (García Alvarado & Lyon Gottlieb, 2013, pp. 20-21). Estas tres dimensiones se sostuvieron en una lógica proyectual entendida desde lo que Farfán y Sartor (2023) denominan arquitectura germinal: un proceso en el que los elementos de una obra pueden provenir, transformarse y volver a desplegarse en nuevas configuraciones, manteniendo un vínculo activo con su origen.

Como resultado, el pabellón no debe leerse únicamente como un objeto concluido, sino como la huella material de un proceso formativo. La relevancia de la experiencia radica en su capacidad de integrar saberes, de activar la colaboración y de producir conocimiento accionable sobre diseño, materialidad y construcción. En este sentido, la fabricación digital actuó como un lenguaje pedagógico que permitió a los estudiantes pensar la arquitectura desde la articulación entre variables, recursos y decisiones responsables.

2. Resultados y discusión

El taller Fabricación Digital en Arquitectura culminó con la materialización parcial del pabellón Exoestructura, correspondiente a un arco de doce módulos. Aunque la escala alcanzada fue menor a la prevista, el resultado permitió comprobar la estabilidad estructural del sistema modular y su coherencia formal. Más allá del objeto construido, el mayor valor del proyecto residió en la reflexión pedagógica generada: la fabricación digital se transformó en un medio de aprendizaje situado, capaz de articular diseño, técnica y pensamiento crítico en el contexto boliviano.

Los estudiantes evidenciaron que la estabilidad del objeto dependía de la cantidad de arcos y de la precisión de las uniones, descubriendo empíricamente que la repetición podía sustituir la masividad como principio de resistencia. Este hallazgo técnico se acompañó de un proceso de aprendizaje significativo, donde el diseño dejó de ser una representación gráfica en dos dimensiones para convertirse en un acto constructivo. Cada decisión implicaba consecuencias materiales, y cada error, una oportunidad para el ajuste. En esa dinámica, el pensamiento proyectual emergió desde la acción misma, confirmando lo que Cárcamo (2021) describe como pensar haciendo, una forma de conocimiento que surge en el encuentro entre mano, materia y máquina.

La reinterpretación del pabellón “Exoskeleton” desde los recursos disponibles en el taller representó un ejercicio de traducción crítica. Los estudiantes comprendieron que reproducir un modelo no implica copiarlo, sino descomponerlo para comprender su lógica y volver a componerlo desde una mirada proyectual. La versión local del proyecto evidenció esa capacidad de análisis, síntesis y adaptación, donde cada módulo fabricado condensaba una hipótesis sobre estructura, forma y técnica.

Los ejercicios paralelos con CNC e impresión 3D extendieron esta lógica al trabajo con moldes y celosías de yeso, integrando escalas, materiales y procesos. La exposición final reunió los tres productos como una única instalación, expresando el carácter colectivo y transversal del aprendizaje. El taller se consolidó, así como un ecosistema de exploración, donde la interdependencia entre técnicas y grupos se transformó en un modelo de colaboración y autogestión. En términos pedagógicos, el resultado más relevante fue la transformación del rol del estudiante: de

Figura 07

Collage del proceso de aprendizaje con tecnologías de fabricación digital: corte láser, fresado CNC e impresión 3D

Elaboración propia. Curso Fabricación Digital, Universidad Católica Boliviana “San Pablo”, Cochabamba (2025).



receptor pasivo a constructor activo de conocimiento. La evaluación colectiva permitió valorar no sólo la calidad técnica, sino también la argumentación, la creatividad y la capacidad de respuesta ante la incertidumbre. En un entorno de recursos limitados, la fabricación digital se reveló como un instrumento de emancipación académica, una manera de pensar desde la escasez y de convertir la restricción en oportunidad.

En su conjunto, la experiencia del taller contribuye a la discusión sobre las formas de aprender arquitectura desde la materialidad, aportando evidencia de cómo la fabricación digital puede devenir en un lenguaje pedagógico crítico y situado.

3. Conclusión

En conclusión, la experiencia desarrollada en el curso Fabricación Digital demostró que el aprendizaje arquitectónico adquiere sentido cuando la teoría y la técnica se funden en la acción. El proceso de reinterpretar el Exoskeleton Pavilion desde las condiciones locales de Cochabamba permitió que los estudiantes comprendieran que el diseño digital no depende de la sofisticación tecnológica, sino de la capacidad de pensar, decidir y construir colectivamente. Este ejercicio, más que replicar una forma, promovió una reflexión sobre cómo se produce conocimiento arquitectónico a partir de la práctica situada. En un contexto latinoamericano donde los recursos son limitados, la fabricación digital se consolida, así como una pedagogía del hacer consciente, un medio para formar arquitectos capaces de articular pensamiento, materia y contexto desde la invención y la crítica.

Referencias



Cárcamo, M. A. (2021). *Acerca del "lenguaje" de las manos (manuaje)*. Una conversación con Mauricio Cárcamo. *Arte, Individuo y Sociedad*, 33(4), 1481-1487. <https://doi.org/10.5209/aris.76611>

Cárcamo Pino, M. A. (2018). *Pensamiento e inteligencia en la proyectación arquitectónica. Una revisión desde los «-ajes» del oficio: lenguaje, grafoaje y manuaje*. De trazos, huellas e improntas. *Arquitectura, ideación, representación y difusión*, 1-10. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid.

Farfán, A., & Sartor, F. (2023). *Arquitectura germinal: de métodos, técnicas, procedimientos – proyectuales*. *Revista Locus*, 3(5), 97-110.

García Alvarado, R., & Lyon Gottlieb, A. (2013). *Diseño paramétrico en Arquitectura: método, técnicas y aplicaciones*. *Revista ARQUISUR*, 3(3), 16-27.

Moskovits, F. (2023). *De empieces y despieces: Técnicas analítico-propositivas en la enseñanza del proyecto arquitectónico*. *Revista Locus*, 3(5), 43-53.

Van Douselaere, T., & Van Geeteruyen, S. (2017). *Exoskeleton Pavilion: An experimental approach to lightweight modular structures using digital fabrication techniques* [Tesis de maestría, Ghent University].

https://libstore.ugent.be/fulltxt/RUG01/002/367/451/RUG01-002367451_2017_0001_AC.pdf