

Manual de Fabricación de Maquetas 3D y Topografía GIS

De datos satelitales a la impresión física: modelado territorial, solidificación estanca, rebanado de alta fidelidad y post-procesado editorial.

QGIS

INGESTA GIS & DEM

Rhinoceros 3D

MODELADO

MANIFOLD

Blender 3D

OPTIMIZACIÓN

MALLAS

PrusaSlicer

REBANADO FDM

Bambu Studio

IMPRESIÓN ALTA

VELOCIDAD

Autor: Adolfo Risopatrón • Arquitectura & Fabricación Digital

Estándar: Alzado Rojo FabLab v2.4 • A4 Vectorial

Equipamiento: Impresoras FDM Prusa MK4 / Bambu Lab X1-Carbon • Boquilla 0.4 mm

ALZADO ROJO

Santiago de Chile • 2026

1. Cheatsheet de Atajos & Comandos Técnicos

Comandos de consola y funciones críticas en software GIS, CAD y Slicers.

Entorno	Comando / Atajo	Función Principal	Aplicación Práctica
QGIS 3.x	Raster > Extraction > Contour	Generación de curvas de nivel	Crear curvas a equidistancia 1m, 2m o 5m
QGIS 3.x	Reproject layer (WGS 84 / UTM)	Reproyección métrica	Transformar grados decimales a metros reales
Rhinoceros 8	MeshPatch	Malla topográfica no regular	Generar superficie continua desde curvas polilínea
Rhinoceros 8	ShowEdges (Naked Edges)	Detección de bordes abiertos	Localizar fugas que rompen el sólido estanco
Rhinoceros 8	BooleanDifference	Sustracción booleana	Generar zócalos planos y machihembrados
Blender 3D	Alt + M > By Distance	Fusión de vértices duplicados	Limpieza de mallas importadas de topografía
Blender 3D	Shift + Ctrl + Alt + M	Select Non-Manifold	Resaltar aristas sueltas o caras invertidas
PrusaSlicer / Bambu	C	Herramienta de Corte (Cut tool)	Segmentación de baldosas con conectores clavija
PrusaSlicer / Bambu	Ctrl + R	Pintar costura de capa (Seam tool)	Ocultar costura en esquinas traseras

💡 TIP DE VERIFICACIÓN EN RHINOCEROS

Usa el comando **What** sobre cualquier geometría final antes de exportar a STL/STEP. El reporte debe indicar inequívocamente: *"Valid closed solid polysurface"* o *"Valid closed mesh"*. Si indica *"open"*, el laminador rellenará de forma errónea los vacíos interiores.

2. Ingesta de Datos GIS & Modelos de Elevación

Estrategias de captura de datos satelitales, reproyección cartográfica y descarga territorial.

1 Selección y Descarga de Fuentes de Elevación (DEM)

La resolución del modelo de elevación digital determina la fidelidad de las pendientes:

- **ALOS PALSAR RTC (12.5 metros/píxel):** Excelente para cordilleras, cuencas hidrográficas y macro-territorios (Escala 1:2000 a 1:100000). Provisto por la Agencia Espacial Japonesa (JAXA) vía ASF Data Search.
- **SRTM v3 / Copérnico DEM (30 metros/píxel):** Cobertura global accesible, pero suaviza quebradas abruptas y acantilados.
- **LiDAR Aéreo / Dron Fotogramétrico (0.05 a 0.5 metros/píxel):** La fuente de máxima precisión para escalas urbanas (1:200 a 1:1000). Permite discriminar veredas, taludes y soleras de hormigón.

2 Reproyección Cartográfica Obligatoria a Proyección Métrica (UTM)

Los datos geoespaciales descargados comúnmente vienen en coordenadas geográficas *EPSG:4326* (*WGS 84 en grados sexagesimales*). **Nunca exportes a CAD en EPSG:4326**, pues la relación X/Y con la coordenada Z (en metros) quedará distorsionada por un factor de 111.000:

- En QGIS, ejecuta *Raster > Projections > Warp (Reproject)*.
- Selecciona el CRS de la zona métrica correspondiente. En Chile Central (Santiago/Valparaíso): **EPSG:32719 (WGS 84 / UTM Zona 19S)**. En el sur (Puerto Montt): **EPSG:32718 (UTM Zona 18S)**.
- Define el método de remuestreo en *Bilinear* o *Cubic* para evitar escalones ortogonales en las laderas.

3 Delimitación del Polígono Urbano & Huellas Edilicias (OSM)

Para maquetas urbanas mixtas (relieve + arquitectura volumétrica existente):

- Utiliza el complemento **QuickOSM** en QGIS y descarga las etiquetas **building=*** y **highway=*** del polígono de interés.
- Filtra polígonos inválidos o geometrías con auto-intersección con *Fix geometries*.
- Exporta el perímetro territorial y curvas a formato **.DXF** o capas **.SHP** para su importación directa en Rhinoceros.

⚠ ADVERTENCIA DE COORDENADAS: TRASLADO A CERO (ORIGIN POINT)

Las coordenadas UTM sitúan los puntos a millones de metros del origen (ej. X: 345.000 m, Y: 6.300.000 m). Al importar a Rhinoceros o Blender, **mueve inmediatamente el conjunto cerca del origen (0,0,0)** con el comando **Move**. El trabajo a distancias astronómicas provoca errores graves de coma flotante (jittering de malla y fallos booleanos).

3. Modelado de Malla Estanca (Manifold & Solidez 3D)

Estrategias en Rhinoceros y Blender para obtener sólidos geoméricamente herméticos sin fallas de impresión.

A. Generación de Superficie Topográfica

En Rhinoceros, a partir de las curvas de nivel o puntos 3D:

- Método 1: MeshPatch.** Selecciona todas las polilíneas de curva de nivel y ejecuta **MeshPatch**. Ajusta el número de divisiones superficiales para captar los quiebres de cota.
- Método 2: Drape (Manta sobre puntos).** Si posees un relieve denso, orienta la vista superior y ejecuta **Drape** con un espaciado de cuadrícula de 2 a 5 mm a escala maqueta.

B. Extrusión de Zócalo Base Hermético

Una topografía pura es una sábana abierta de espesor cero. Para fabricarla físicamente, debe transformarse en un sólido poliédrico cerrado:

- Determina la cota Z más baja del terreno dentro de tu límite de corte.
- Proyecta un zócalo horizontal al menos **5.0 mm por debajo** de dicha cota mínima. Esta base plana absorberá la primera capa de adhesión a la cama caliente y dará estabilidad estructural a la maqueta.
- Ejecuta una extrusión hacia abajo desde los bordes perimetrales y cierra la base inferior plana con una superficie (**Cap** o **Join**).

C. Eliminación de Aristas No-Manifold

Error de Topología	Consecuencia en el Slicer	Comando de Reparación
Bordes Abiertos (Naked Edges)	El laminador interpreta el objeto como un plano vacío y no genera relleno interno.	Rhino: FillMeshHole o RebuildMesh . Blender: Merge by Distance .
Normales Invertidas (Flipped Normals)	Cálculo de trayectorias al revés; la boquilla imprime en el aire o vacía piezas sólidas.	Rhino: UnifyMeshNormals . Blender: Shift + N (Recalculate Outside).
Aristas No-Manifold (Compartidas por 3+ caras)	Cierre de polígonos corrupto; rebanadas que se solapan y queman filamento.	Blender: <i>Clean Up > Degenerate Dissolve</i> . Rhino: ExtractBadSrf .

D. Regla Sagrada de Espesores Mínimos

En maquetas arquitectónicas físicas producidas por FDM (Fused Deposition Modeling):

- Espesor Mínimo de Muro Arquitectónico:** **1.20 mm** (equivalente exacto a 3 perímetros limpios con boquilla de 0.40 mm). Todo tabique inferior a 0.8 mm desaparecerá al rebanar o se romperá al desmoldar.
- Vuelos y Aleros sin Soporte:** Máximo 45° de inclinación con respecto a la vertical. Para cornisas horizontales mayores a 2 mm, prevé soportes de árbol desmontables (Tree Supports).

- **Cables y Postes Urbanos:** No modelar en 3D; deben agregarse a posteriori con alambres de latón o filamento tensado si la escala lo exige.

4. Segmentación Modular de Grandes Terrenos

Estrategias de partición en baldosas (tiles), encajes machihembrados y tolerancias mecánicas.

1 Estrategia de Baldosas (Tiling Grid)

Los modelos territoriales que superan el área útil de cama (256 × 256 mm en Bambu Lab o 250 × 210 mm en Prusa MK4) deben modularse en módulos manejables:

- **Módulos Estándar:** Subdivide la retícula territorial en baldosas de **10 × 10 cm**, **15 × 15 cm** o **20 × 20 cm**.
- **Ventaja Técnica:** Minimiza el riesgo de fallo de impresión catastrófico (perder una pieza de 4 horas en vez de un modelo de 70 horas continuas) y mitiga la deformación por contracción térmica (warping) en esquinas.

2 Sistema de Encajes con Tolerancia Dimensional (±0.2 mm)

La unión entre baldosas adyacentes no debe depender de pegado a ciegas. Implementa conectores mecánicos invisibles:

- **Pernos de Alineación Cilíndricos (Dowel Pins):** En la herramienta de corte de Bambu Studio o PrusaSlicer, selecciona *Conectores > Clavija cilíndrica*. Diámetro sugerido: 4.0 mm; Profundidad: 6.0 mm por cara.
- **Tolerancia de Calce:** Configura la holgura en **0.20 mm** (espacio radial). Si se deja en 0.0 mm, el ensanche del filamento fundido (elephant's foot) impedirá que las piezas encajen sin limar agresivamente.
- **Identificación en Base:** Graba un bajorrelieve de 0.8 mm de profundidad en la base inferior de cada baldosa con su código de cuadrícula (ej. **FILA_B_COL_03**).

TOLERANCIA DE CONECTORES

± 0.20 mm

Permite ensamble deslizante en seco antes de aplicar adhesivo.

ESPESOR MÍNIMO DE ZÓCALO BASE

4.0 – 6.0 mm

Garantiza rigidez flexural y alojamiento de conectores.

5. Configuración de Rebanado (Slicer Setup)

Parámetros maestros optimizados para PrusaSlicer y Bambu Studio en maquetas arquitectónicas.

1 Material de Elección: PLA Mate Arquitectónico

Nunca utilices PLA estándar brillante; el reflejo especular del plástico brillante resalta las líneas de capa y abarata el aspecto visual. Utiliza **PLA Mate (Matte PLA)** en blanco puro, marfil o gris humo claro:

- El acabado mate dispersa la luz suavemente emulando maquetas de yeso o resina de taller.
- Baja tasa de contracción térmica; excelente estabilidad dimensional sin deformación en esquinas.

Parámetro Slicer	Valor Recomendado	Razón Técnica y Justificación
Altura de Capa (Layer Height)	0.16 mm – 0.20 mm	0.16 mm ofrece la relación perfecta entre suavidad en pendientes topográficas y tiempo de impresión.
Perímetros (Wall Loops)	3 perímetros (1.2 mm)	Evita que el patrón de relleno interior se trasluzca a contraluz en las caras exteriores.
Capas Superiores / Inferiores	5 superiores / 4 inferiores	Cierre hermético sin efecto "almohadilla" (pillowing) en mesetas horizontales.
Patrón de Relleno (Infill)	Giroidal (Gyroid) al 12%	Resistencia isotrópica en 3 dimensiones sin líneas de cruce sobre la misma capa; no produce vibración acústica.
Temperatura de Boquilla	210°C (primera) / 205°C (resto)	Evita el sobrecalentamiento que genera hilos finos (stringing) en zonas escarpadas.
Temperatura de Cama	55°C – 60°C	Base calefaccionada texturada PEI; garantiza adherencia sin laca química.
Velocidad Pared Externa	35 – 45 mm/s	Velocidad moderada para garantizar definición milimétrica en curvas de nivel suaves.

6. Acabado Físico, Ensamble & Enmarcado Editorial

Tratamiento superficial y presentación final como objeto de arte arquitectónico de alta gama.

1 Retiro Limpio de Hilos y Rebabas (De-stringing)

Tras la impresión, pueden quedar micro-filamentos en zonas escarpadas:

- **Técnica de Choque Térmico:** Pasa una pistola de calor calibrada a **160°C – 180°C** (o la llama rápida de un encendedor de cocina) a unos 15–20 cm de distancia durante 1 a 2 segundos. Los micro-hilos de PLA se evaporarán instantáneamente sin ablandar la pieza sólida.
- **Bisturí Quirúrgico #11:** Recorta cualquier resto de costura visible en aristas con corte tangencial plano.

2 Lijado Progresivo al Agua en Junturas de Baldosa

Para ensambles modulares con unión prácticamente invisible:

- Monta las baldosas en seco con los pines conectores sobre una mesa de corte perfectamente plana.
- Lija los bordes laterales con lija de grano al agua: primero **320**, luego **400** y remata con **600** humedecida. El agua previene la fricción térmica que funde el PLA generando grumos blancuzcos.

3 Fijación Estructural & Enmarcado en Madera Negra

El estándar de presentación de Alzado Rojo exige montaje de galería:

- **Placa de Soporte:** Tablero de MDF o contrachapado de abedul de 9 mm a 12 mm de espesor, cortado con escuadradora o láser, lacado en negro mate antirreflejo.
- **Adhesivo:** Masilla de poliuretano o cianoacrilato de viscosidad media con activador en aerosol. Aplica puntos en espiral en el centro de cada baldosa, dejando 15 mm libres respecto al perímetro exterior para evitar rebases.
- **Enmarcado Tipo Vitrina (Shadow Box):** Marco perimetral de madera maciza (roble o maño teñido negro grafito) con perfil de 40 a 60 mm de fondo y vidrio museo antirreflejo distanciador de 10 mm sobre la cota topográfica más alta.

7. Tabla Maestra de Escalas, Cobertura & Detalle (LOD)

Parámetros de conversión métrica, tamaño de maqueta y nivel de detalle admisible según escala técnica.

Escala	Equivalencia Física	Área Terreno Representada (en 40×40 cm)	Nivel de Detalle (LOD)	Exageración Z Recomendada
1:500	1 cm = 5.0 metros (1 mm = 0.5 m)	200 × 200 metros (4 hectáreas urbanas)	LOD 300: Vanos de ventanas marcados, soleras, aleros y escalinatas visibles.	1.0× (Natural) Las pendientes son plenamente perceptibles.
1:1000	1 cm = 10.0 metros (1 mm = 1.0 m)	400 × 400 metros (16 hectáreas - Manzana ampliada)	LOD 200: Volúmenes edificios puros con pendientes de cubiertas; arbolado esquemático.	1.0× a 1.25× Ligero realce en lomas suaves.
1:2000	1 cm = 20.0 metros (1 mm = 2.0 m)	800 × 800 metros (64 hectáreas - Barrio completo)	LOD 100: Masas volumétricas prismáticas de manzanas; perfil vial grabado en bajo relieve.	1.5× Necesario para apreciar desniveles menores a 5 m.
1:5000	1 cm = 50.0 metros (1 mm = 5.0 m)	2.0 × 2.0 kilómetros (400 hectáreas - Valle o Cerro isla)	LOD 50: Relieve territorial puro; ríos y autopistas en canaletas de 0.8 mm.	1.75× a 2.5× Imprescindible en terrenos llanos para evitar una placa plana.

 CHECKLIST DE CONTROL DE CALIDAD PRE-ENTREGA

- 1. ¿Malla verificada como cerrada y sólida estanca sin bordes desnudos (**ShowEdges** limpio)?
- 2. ¿Espesor mínimo de muros verificado en el slicer ≥ 1.20 mm (3 perímetros)?
- 3. ¿Tolerancia de encajes de baldosas calibrada a ±0.2 mm?
- 4. ¿Superficie libre de hilos de filamento y aristas desbarbadas con bisturí?
- 5. ¿Fijación sobre marco y placa base rígida con pernos o adhesivo sin pandeo estructural?