

Simulación virtual, difusión telemática y prototipado del conjunto arqueológico de Kuélap (Amazonas, Perú)

Esteve Ribera Torró

Escuela Técnica Superior de Ingeniería del Diseño – Universitat Politècnica de Valencia

Abstract

The inter-institutional cooperation of the Universitat Politècnica de València and the AECID with the team of archaeologists and conservators staff from Proyecto Especial Kuelap (Gobierno Regional Amazonas - Peru) has made possible the execution of the virtual archaeology project on pre-Inca archaeological site of Kuelap, a significant icon of Chachapoya culture in Amazonian Andes. The achievements of this project have been the publication of the “kuelapvirtual.com” web site and the elaboration of a prototype of Kuélap and its environment. The website offers a virtual visit of 360 degrees with 190 interactive panoramas that it is based on the technique of immersive spherical photography and a virtual flight based on Google Earth API for its location and geographical exploration. The prototype, designed from a 3D model elaborated with Rhinoceros 3D modelling, displays the reconstruction of Kuélap in the period of full occupation in the XI century AD and Kuélap geographical environment imported from Google Earth in full colour.

Key words: KUELAP, VIRTUAL ARCHAEOLOGY, INTERACTIVE VIRTUAL TOUR, 360 ° SPHERICAL IMMERSIVE PHOTOGRAPHY, 3D, PROTOTYPING

Resumen

La cooperación interinstitucional de la Universitat Politècnica de Valencia y la AECID con el equipo de arqueólogos y conservadores del Proyecto Especial Kuélap (Gobierno Regional Amazonas - Perú) han hecho posible la ejecución exitosa de este proyecto de arqueología virtual sobre el sitio arqueológico preincaico de Kuélap, ícono de la cultura Chachapoya en los Andes Amazónicos. Los frutos de este proyecto han sido la publicación del portal web “kuelapvirtual.com” y la fabricación de un prototipo de Kuélap y de su entorno. El portal ofrece una visita virtual 360° con 19 panoramas interactivos, en base a la técnica de la fotografía esférica inmersiva, y un vuelo virtual en base al API de Google Earth para su ubicación y exploración geográfica. El prototipo, realizado a partir de un modelo 3D modelado con Rhinoceros, muestra por una parte una reconstrucción de Kuélap en plena ocupación hacia el siglo XI. d. C, y por otra el entorno geográfico de Kuélap a todo color, importado del Google Earth.

Palabras Clave: KUÉLAP, ARQUEOLOGÍA VIRTUAL, VISITA VIRTUAL INTERACTIVA, FOTOGRAFÍA ESFÉRICA INMERSIVA 360°, 3D, PROTOTIPADO

A mi hijo Biel Amaru

PROYECTO FIN DE CARRERA

PFC Ingeniería Técnica en Diseño Industrial

Autor: Esteve Ribera Torró

Director: José Antonio Diego Mas

Valencia, junio del 2013



ÍNDICE

I. MEMORIA	17
1. INTRODUCCIÓN	27
2. ORIGEN DEL PROYECTO	28
3. OBJETO Y OBJETIVOS DEL PROYECTO	29
4. ANTECEDENTES	30
4.1 El sitio arqueológico de Kuélap:	30
4.2 La entidad contra-parte: el PEK	30
4.3 De la arqueología virtual	31
5 TÉCNICAS COMPUTERIZADAS DE REPRESENTACIÓN ARQUEOLÓGICA VIRTUAL	32
5.1 Fotografía esférica 360°	33
5.2 Fotogrametría digital	34
5.3 Láser Scanner 3D	35
5.4 Diseño asistido por ordenador (CAD-3D)	36
5.5 Aplicaciones interactivas 3D en tiempo real	37
5.6 Prototipado Rápido	38
5.7 Tabla-resumen de software aplicado a la simulación virtual:	39
5.8 Diagrama técnicas/resultados	40
6. PRESENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN ELEGIDA	41
7. REQUISITOS DE DISEÑO	42
7.1 Del recorrido virtual	42
7.2 Del prototipo arqueológico	42
8. FASES DE DESARROLLO:	43
8.1 FASE 1: Simulación Virtual de Kuélap - Técnica de la "fotografía esférica"	43
8.1.1 Calibración del cabezal panorámico	44
8.1.2 Trabajo de campo. Fotografiando Kuélap	45

8.1.3	Procesado digital	48
8.1.3.1	Revelado RAW	51
8.1.3.2	HDR y Exposure-fusion	51
8.1.3.3	Costura Fotográfica (Stitching)	54
8.1.3.4	Retoque Fotográfico	55
8.1.3.5	Interactividad	65
8.1.3.6	Graphical User Interface (Gui)	65
8.1.6	Textos arqueológicos	68
8.1.6.1	Texto general de Cuélap (H 14)	68
8.1.6.2	Petroglifos Acceso 1 (H15)	68
8.1.6.3	Templo Mayor (H16, 17,18)	69
8.1.6.4	Plataforma circular (H19)	69
8.1.6.5	Pueblo Alto (H3)	69
8.1.6.6	La Tumba Inca del P. A. Sur (H 5, 6)	69
8.1.6.7	Sector Central del Pueblo Alto (H3)	69
8.1.6.8	Callanca (H2)	70
8.1.6.9	El Torreón (H1)	70
8.1.7	Audio	70
8.2	FASE 2: Diseño y difusión del portal web	71
8.2.1	Api Del Google Earth	71
8.2.2	Desarrollo Web	76
8.2.3	Diseño Web Responsivo	77
8.3	FASE 3: MODELADO 3D	81
8.3.1	Modelado de la “Parte A”	82
8.3.1.1	Levantamiento topográfico: curvas de nivel con alturas	82
8.3.1.2	Mallado v.1	84
8.3.1.3	Secciones transversales - plano XZ	86
8.3.1.4	Secciones longitudinales - plano YZ	88
8.3.1.5	Mallado v.2	90
8.3.1.6	Optimización geométrica para el mallado	92
8.3.1.7	Mallado v.3	94
8.3.1.8	Modelado de estructuras	96
8.3.1.9	Volumen final parte A	98
8.3.2	Modelado de la “Parte B”	99
8.3.2.1	Importación de superficie de G.E.	99
8.3.2.2	Importación de ortofoto satelital	99
8.3.2.3	Importación de topónimos	100
8.3.2.4	Modelo Final	104

8.4 FASE 4: PROTOTIPADO	109
8.4.1 Hardware impresión 3D: Z-Printer 450	109
8.4.2 Software impresión 3D: Z-Print	109
8.4.3 Componentes de la Z-Print 450	110
8.4.4 Flujo de trabajo del prototipado	111
8.4.5 Consumibles	112
8.4.6 Proceso de impresión	114
3.4.7 Resultados del prototipado	117
8.4.5 Resultados del prototipado	118
9. VALORACIÓN DE LA EJECUCIÓN, DESVIACIONES Y RECOMENDACIONES	122
9.1 Valoración global	122
9.1.1 Socio local y mecanismos de ejecución	122
9.1.2 Nivel de participación de los colectivos afectados	122
9.1.3 Puntos fuertes y débiles en el desarrollo del proyecto	123
9.1.4 ¿Qué se modificaría del proyecto inicial y/o de su ejecución?	124
9.2 Valoración de los criterios de evaluación:	124
9.2.1 Eficacia	124
9.2.2 Eficiencia	124
9.2.3 Pertinencia	125
9.2.4 Impacto	125
9.3 Finalización y transferencia del Proyecto	126
9.3.1 Grado de sostenibilidad	126
9.3.2 Receptividad del socio local y de los beneficiarios	126
9.3.3 Visibilidad	126
10. CONCLUSIONES PERSONALES	127
11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	128

II. PLIEGO DE CONDICIONES	133
1. INTRODUCCIÓN	137
2. CONDICIONES DE TIPO GENERAL	138
2.2 Partes contratantes	139
2.3. Normativa reguladora.	141
2.3.1 En relación con la AECID:	141
2.3.2 En relación con el PEK - GRA	142
3. CONDICIONES PARTICULARES	143
3.1 Mecanismos de ejecución y seguimiento	143
3.2 Plazos de ejecución y finalización.	144
3.3 Especificaciones técnicas	144
3.3.1 Del Portal Web	144
3.3.1 De la maqueta arqueológica	145
3.4 Condiciones de entrega	145
3.6 Tribunales competentes	145
3. CONDICIONES FINALES	146
3.1 Del Gobierno Regional Amazonas	146
3.2 De la Universitat Politècnica de València	146
3.3 Del Ejecutante	146

III. PLANOS	149
1. PLANTA TOPOGRÁFICA DE LA CIUADAELA DE KUÉLAP	
2. SECCIONES D-D', E-E', F-F', G-G'	
3. SECCIONES H-H', I-I', J-J', K-K'	
4. ALZADOS PUEBLO ALTO - SECCIÓN B-B'	
5. ALZADOS MURALLA PRINCIPAL - SECCIÓN A-A'	150

IV. PRESUPUESTO	153
1. INTRODUCCIÓN	156
2. PRESUPUESTO PORTAL WEB	157
2.1 COSTES DIRECTOS CORRIENTES	157
2.1.1 Costes de mano de obra	157
2.2 COSTES DIRECTOS DE INVERSIÓN	160
2.2.1 Equipos y materiales inventariables	160
2.1.2 Licencias de software	161
2.2.3 Costes directos de inversion totales	162
2.3 COSTES DIRECTOS TOTALES	162
2.4 COSTES INDIRECTOS	163
2.5 PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL (PEM)	163
2.5 PRESUPUESTO TOTAL PORTAL WEB	164
3. PRESUPUESTO MAQUETA ARQUEOLÓGICA	165
3.1 COSTES DIRECTOS CORRIENTES	165
3.1.1 Costes de mano de obra	165
3.1.2 Materiales y suministros no inventariables	167
3.1.3 Costes directos corrientes totales	168
3.2 COSTES DIRECTOS DE INVERSIÓN	169
3.2.2 Licencias de software	169
3.2.3 Costes directos de inversión totales	169
3.4 COSTES INDIRECTOS	170
3.5 PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL (PEM)	171
4. PRESUPUESTO TOTAL ABSOLUTO	171

V. ANEXOS

175

1. PDF 3D: MODELO A. KUELAP
2. PDF 3D: MODELO B. ENTORNO
3. PDF 3D: MODELO AB. MAQUETA ARQUEOLÓGICA
4. PDF 3D: MALLAS V1, V2 I V3
5. CONVENIO MARCO UPV - GRA
6. ESTADÍSTICAS PORTAL WEB. GOOGLE ANALYTICS
7. FLUJO DE TRABAJO FOTOGRAFIA ESFÉRICA HDR
8. RECORTES DE PREMSA

I. MEMORIA

PFC Ingeniería Técnica en Diseño Industrial

Autor: Esteve Ribera Torró

Director: José Antonio Diego Mas

Valencia, junio del 2013



ÍNDICE

I. MEMORIA

1. INTRODUCCIÓN	27
2. ORIGEN DEL PROYECTO	28
3. OBJETO Y OBJETIVOS DEL PROYECTO	29
4. ANTECEDENTES	30
4.1 El sitio arqueológico de Kuélap:	30
4.2 La entidad contra-parte: el PEK	30
4.3 De la arqueología virtual	31
5 TÉCNICAS COMPUTERIZADAS DE REPRESENTACIÓN ARQUEOLÓGICA VIRTUAL	32
5.1 Fotografía esférica 360°	33
5.2 Fotogrametría digital	34
5.3 Láser Scanner 3D	35
5.4 Diseño asistido por ordenador (CAD-3D)	36
5.5 Aplicaciones interactivas 3D en tiempo real	37
5.6 Prototipado Rápido	38
5.7 Tabla-resumen de software aplicado a la simulación virtual:	39
5.8 Diagrama técnicas/resultados	40
6. PRESENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN ELEGIDA	41
7. REQUISITOS DE DISEÑO	42
7.1 Del recorrido virtual	42
7.2 Del prototipo arqueológico	42
8. FASES DE DESARROLLO:	43
8.1 FASE 1: Simulación Virtual de Kuélap - Técnica de la "fotografía esférica"	43
8.1.1 Calibración del cabezal panorámico	44
8.1.2 Trabajo de campo. Fotografiando Kuélap	45

8.1.3	Procesado digital	48
8.1.3.1	Revelado RAW	51
8.1.3.2	HDR y Exposure-fusion	51
8.1.3.3	Costura Fotográfica (Stitching)	54
8.1.3.4	Retoque Fotográfico	55
8.1.3.5	Interactividad	65
8.1.3.6	Graphical User Interface (Gui)	65
8.1.6	Textos arqueológicos	68
8.1.6.1	Texto general de Cuélap (H 14)	68
8.1.6.2	Petroglifos Acceso 1 (H15)	68
8.1.6.3	Templo Mayor (H16, 17,18)	69
8.1.6.4	Plataforma circular (H19)	69
8.1.6.5	Pueblo Alto (H3)	69
8.1.6.6	La Tumba Inca del P. A. Sur (H 5, 6)	69
8.1.6.7	Sector Central del Pueblo Alto (H3)	69
8.1.6.8	Callanca (H2)	70
8.1.6.9	El Torreón (H1)	70
8.1.7	Audio	70
8.2	FASE 2: Diseño y difusión del portal web	71
8.2.1	Api Del Google Earth	71
8.2.2	Desarrollo Web	76
8.2.3	Diseño Web Responsivo	77
8.3	FASE 3: MODELADO 3D	81
8.3.1	Modelado de la “Parte A”	82
8.3.1.1	Levantamiento topográfico: curvas de nivel con alturas	82
8.3.1.2	Mallado v.1	84
8.3.1.3	Secciones transversales - plano XZ	86
8.3.1.4	Secciones longitudinales - plano YZ	88
8.3.1.5	Mallado v.2	90
8.3.1.6	Optimización geométrica para el mallado	92
8.3.1.7	Mallado v.3	94
8.3.1.8	Modelado de estructuras	96
8.3.1.9	Volumen final parte A	98
8.3.2	Modelado de la “Parte B”	99
8.3.2.1	Importación de superficie de G.E.	99
8.3.2.2	Importación de ortofoto satelital	99
8.3.2.3	Importación de topónimos	100
8.3.2.4	Modelo Final	104

8.4 FASE 4: PROTOTIPADO	109
8.4.1 Hardware impresión 3D: Z-Printer 450	109
8.4.2 Software impresión 3D: Z-Print	109
8.4.3 Componentes de la Z-Print 450	110
8.4.4 Flujo de trabajo del prototipado	111
8.4.5 Consumibles	112
8.4.6 Proceso de impresión	114
3.4.7 Resultados del prototipado	117
8.4.5 Resultados del prototipado	118
9. VALORACIÓN DE LA EJECUCIÓN, DESVIACIONES Y RECOMENDACIONES	122
9.1 Valoración global	122
9.1.1 Socio local y mecanismos de ejecución	122
9.1.2 Nivel de participación de los colectivos afectados	122
9.1.3 Puntos fuertes y débiles en el desarrollo del proyecto	123
9.1.4 ¿Qué se modificaría del proyecto inicial y/o de su ejecución?	124
9.2 Valoración de los criterios de evaluación:	124
9.2.1 Eficacia	124
9.2.2 Eficiencia	124
9.2.3 Pertinencia	125
9.2.4 Impacto	125
9.3 Finalización y transferencia del Proyecto	126
9.3.1 Grado de sostenibilidad	126
9.3.2 Receptividad del socio local y de los beneficiarios	126
9.3.3 Visibilidad	126
10. CONCLUSIONES PERSONALES	127
11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	128

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Kuélap desde el aire.	29
Figura 2. Infografía de Ubicación Geográfica de Kuelap.	30
Figura 3. Reconstrucción virtual de Kuélap.	31
Figura 4. Visita virtual esférica del Taj Mahal, India.	33
Figura 5. Modelo fotogramétrico de Tiwanaku, Bolivia.	34
Figura 6. Reconstrucción virtual de la "Fuente de los Leones" con modelos obtenidos mediante Laser Scanner.	35
Figura 7. Reconstrucción virtual de la villa romana La Olmeda. Modelo 3D	36
Figura 8. "Monastery of Dordrecht". Aplicación interactiva desarrollada con Quest 3D	37
Figura 9. Maqueta imprimida con impresora 3D ZPrinter 350.	38
Figura 10. Calibración del cabezal panorámico Nodal Ninja	44
Figura 11. Rotación calibrada alrededor del NPP	44
Figura 12. Rotación convencional no calibrada	44
Figura 13. Proceso de captura fotográfica esférica.	45
Figura 14. Puntos interactivos elegidos para la visita virtual de Kuelap.	46
Figura 15. Fotografiando la parte superior del Acceso 1	47
Figura 17. Preparación de la captura esférica de la Tumba Inca	47
Figura 16. Fotografiando el interior de la Tumba Inca del	47
Figura 18. Procesando digitalmente los datos fotográficos.	48
Figura 19. Proceso de fusión HDR más costura fotográfica	49
Figura 20 Proceso de costura fotográfica más fusion HDR	50
Figura 21 Diagrama del flujo de trabajo basado en el método de Guillermo Luijk	52
Figura 22 Diagrama del flujo de trabajo utilizado en el proyecto.	52
Figura 23 Captura de pantalla del programa Zeronoise.	53
Figura 24 Proyección equirectangular plana de la superficie "esférica" terrestre, con indicadores de la deformación relativa	54
Figura 25. Edición fotográfica con Photoshop y "Super rune filters" para eliminar los defectos del Nadir.	55
Figura 26: Panorama equirectangular del Hotspot 14: Exterior Acceso 1	56
Figura 27: Panorama equirectangular del Hotspot 12: Arriba Acceso 1	56
Figura 28: Panorama equirectangular del Hotspot 15: Interior Acceso 1	57
Figura 29: Panorama equirectangular del Hotspot 18: Templo Mayor Sur	57
Figura 30: Panorama equirectangular del Hotspot 16: Templo Mayor Norte	58
Figura 32: Panorama equirectangular del Hotspot 8: Estructura	59
Figura 33: Panorama equirectangular del Hotspot 9: Sector Central del Pueblo Bajo	59
Figura 34: Panorama equirectangular del Hotspot 13: Colapso	60

Figura 35: Panorama equirectangular del Hotspot 11: Frisos	60
Figura 36: Panorama equirectangular del Hotspot 1: El Torreón	61
Figura 37: Panorama equirectangular del Hotspot 10: Interior vivienda	61
Figura 38: Panorama equirectangular del Hotspot 2: Callanca	62
Figura 39: Panorama equirectangular del Hotspot 4: Acceso 3	62
Figura 40: Panorama equirectangular del Hotspot 3: Estructura Funeraria	63
Figura 41: Panorama equirectangular del Hotspot 5: Exterior tumba inca	63
Fig. 42: Panorama equirectangular del H6: Interior tumba con autoridades locales y responsables de la excavación	64
Figura 43: Fotografía del interior de la tumba (objetivo Nikkor 10.5mm fisheye)	64
Figura 44: Primera versión del panel de botones en sus diferentes estados (default-state, over-state, selected-state)	65
Figura 45: Versión definitiva del panel de botones.	65
Figura 46: Captura de pantalla del <i>skin editor -Pano2VR (a)</i>	66
Figura 47: Captura de pantalla del <i>skin editor -Pano2VR (b)</i>	66
Figura 48: 1a versión de la <i>Graphical User Interface</i> con mapa interactivo flotante.	67
Figura 49: Petroglifos del Acceso 1 de Kuelap	68
Figura 50: Controles de audio	70
Figura 51: Captura de pantalla del programa Google Earth Pro	71
Figura 52: Superposición del plano al relieve de Google Earth	69
Figura 53: 2a versión de la <i>Graphical User Interface (a)</i>	72
Figura 52: Superposición del plano al relieve de Google Earth	72
Figura 54: 2a versión de la <i>Graphical User Interface, (b)</i>	73
Figura 55: Menú desplegable con diferentes niveles de zoom	73
Figura 56: Aplicación del Api de Google Earth. Nivel de zoom: (20.000 km s.n.d.m)	74
Figura 57: Aplicación del Api de Google Earth. Nivel de zoom: Perú-amazonas (3000 km s.n.d.m)	74
Figura 59: Aplicación del Api de Google Earth. Nivel de zoom: Kuélap de Cerca (4 km s.n.d.m)	75
Figura 61: Primera versión del portal web con logotipo romboidal	76
Figura 60. Logotipo del portal web kuelapvirtual.com	76
Figura 62: Web con diseño flexible, vista en diferentes anchos de pantalla.	77
Figura 63: Portal Web www.kuelapvirtual.com , visto en diferentes anchos de pantalla.	77
Figura 64: Versión definitiva del portal web www.kuelapvirtual.com	79
Figura 65: Captura de pantalla del programa Rhinoceros en el proceso de modelado de Kuélap. Malla triangular	81
Fig. 66: Optimización de curvas de nivel: Curvas de nivel originales (a) c.n. principales (b) y c.n.optimizadas (c)	83
Figura 67: Mallado v1 a partir de la geometría de curvas de nivel optimizadas.	85
Figura 68: Obtención de las secciones transversales	87
Fig.69: Obtención de las secciones longitudinales	89
Figura 70: Mallado v2 a partir de secciones transversales y longitudinales	91

Fig.71: Optimización geométrica para el mallado	93
Figura 72: Mallado definitivo v3 a partir de la geometría optimizada se consiguió un mallado homogéneo	95
Figura 73: Reconstrucción pictórica de la Ciudadela de Kuelap en plena ocupación	96
Figura 74: Modelo 3D de Kuélap con estructuras arquitectónicas incorporadas. Vista del Sector Sur.	97
Figura 75: Modelo 3D de Kuélap con estructuras arquitectónicas incorporadas. Vista general	97
Figura 76: Modelo Final de la parte A (d) y partes que	98
Figura 77: Importación de ortofoto satelital en alta resolución desde el Google Earth Pro	99
Figura 78: Mapa físico de la zona circundante a Kuelap con escala 1:100 .000.	100
Figura 79: Toponimia extraída del mapa físico	100
Fig.80: Capas del modelo: toponimia (a), ortofoto (b) malla importada del GE (c).	101
Fig.81: Ortofoto satelital del entorno de Kuelap importada del G.E, con toponimia importada de mapa físico	103
Fig.82: Render de la parte B (maqueta del entorno de Kuelap) separada en sus 16 módulos	104
Fig.83: Render de la Parte B.	107
Fig.85: Captura de pantalla del programa Z-Print con el módulo A1	109
Fig.84: Impresora 3D Z-Priner 450.	109
Fig.86: Partes de la Z-Printer 450	110
Fig.87: Infografía del Flujo de trabajo del prototipado	111
Fig.88: Nomenclatura general de los módulos de la maqueta	112
Fig.89: Infografía del proceso de impresión	115
Fig.90: Prototipo completo de de Ciudadela de Kuélap (Parte A) y su entorno (Parte B)	117
Fig.91: Detalle de la Parte B de la maqueta arqueológica	117
Fig.92: Vista general de la Parte A de la maqueta arqueológica	117
Fig.93: Imagen con la información relativa a la Parte A de la maqueta arqueológica	118
Fig.94: Módulo K1 con la información correspondiente imprimida	118
Fig.95: Imagen con la información relativa a la Parte B de la maqueta arqueológica	119
Fig.96: Módulo D4 con la información correspondiente imprimida	119
Fig.97: Detalle de la Parte A donde se distingue el Templo Mayor y la Plataforma Circular.	120
Fig.98: Detalle de la Parte A. sector Sur	120
Fig.99: Detalle de la Parte A donde se distingue el Templo Mayor	121
Fig.100: Detalle de la Parte A donde se distingue una estructura cuadrangular entre todas las estructuras circulares	121

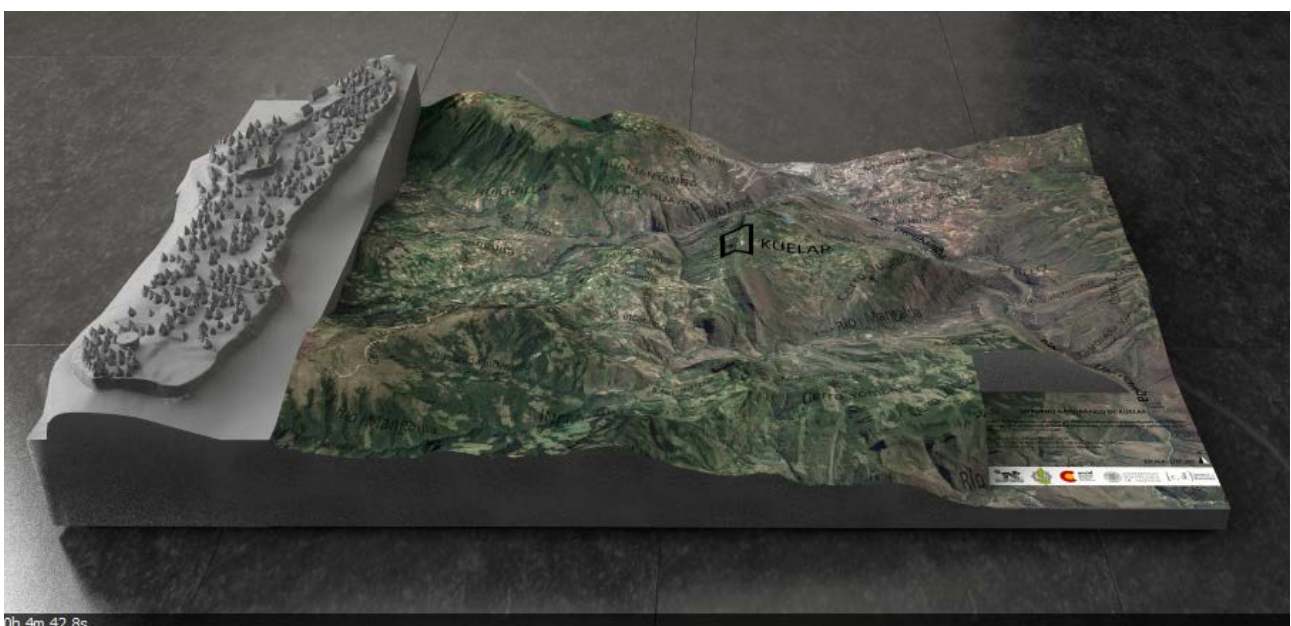
1. INTRODUCCIÓN

El proyecto que aquí presentamos se trata de un Proyecto Fin de Carrera (PFC) desarrollado en el marco de un proyecto de Cooperación Internacional al Desarrollo, que fue ejecutado por Esteve Ribera Torró entre los meses de octubre del 2010 y abril del 2012 en la Región Amazonas del Perú y la Universitat Politècnica de València (UPV). Se contextualiza como una colaboración de la UPV y la Agencia Española de Cooperación Internacional al Desarrollo (AECID) con el equipo de arqueólogos y especialistas del Proyecto Especial Kuélap del Gobierno Regional de Amazonas (PEK-GRA), en su labor de investigación, conservación y difusión científica del sitio arqueológico preincaico de Kuélap.

Dicha colaboración se basó -tal como describe el título del PFC- en la “Realización de una Simulación Virtual en 3D, difusión telemática y prototipado” de Kuélap. Esto se materializó en dos productos finales; el portal web “kuelapvirtual.com” y una maqueta ar-

queológica de Kuélap. El portal contiene una visita virtual 360° de Kuélap con 19 panoramas interactivos, además de una aplicación del Api de Google Earth para su ubicación geográfica. La maqueta arqueológica está dividida en dos partes. La primera (4 módulos), con escala 1:750, muestra una reconstrucción de Kuélap en plena ocupación hacia el siglo XI. d. C. La segunda (16 módulos), a escala 1:17500, muestra el relieve del entorno de Kuélap a color, con toda la información toponímica correspondiente.

El proyecto fue posible gracias a la financiación de la AECID y el Centro de Cooperación al Desarrollo de la UPV, y tuvo el apoyo del Proyecto Especial Kuélap (Gobierno Regional Amazonas) como entidad contraparte. La dirección del PFC fue a cargo de José Antonio Diego Mas, y contó con la dirección arqueológica de Luis Alfredo Narváez Vargas, arqueólogo responsable de la dirección científica de Kuélap.



2. ORIGEN DEL PROYECTO

La idea de realizar este proyecto nace después de haber terminado los estudios de Ingeniería Técnica en Diseño Industrial. Finalizar los estudios es un momento singular en la vida académica de cualquier profesional, el fin de una etapa, y la ocasión perfecta para explorar nuevos campos y profundizar en aquellos aspectos interesantes de la carrera en los que no había sido posible hasta el momento; una buena ocasión para la especialización académica y el contacto con el mundo laboral. El PFC se presentaba como la oportunidad perfecta para poder desarrollar un Proyecto de Cooperación al Desarrollo en un país empobrecido, que era un objetivo que anhelaba desde hacía tiempo, tras algunas experiencias previas como cooperante internacional.*

Con estas premisas, se fué configurando la idea de realizar el PFC vinculado a un Proyecto de Cooperación al Desarrollo en un país del continente Sudamericano, aplicando el conocimiento adquirido durante la carrera para dar respuesta a las necesidades de la arqueología, en un proyecto pluridisciplinar que satisficiera mi curiosidad por aprender conocimientos propios de otras áreas del saber.

Una vez definido el proyecto conceptualmente, restaban dos problemas ineludibles; encontrar financiamiento y definir el objeto de estudio.

Para encontrar financiamiento fue necesario realizar una intensa búsqueda de becas y subvenciones a proyectos de cooperación. Con el fin de encontrar un objeto de estudio,

y en consecuencia, el lugar donde desarrollar el Proyecto, se enviaron decenas de correos electrónicos a los responsables de la gestión del patrimonio cultural y arqueológico de diferentes países de Sudamérica y Centroamérica; directores de proyectos arqueológicos, museos, colegios de arqueólogos, ministerios de cultura, etc....

De este modo llegó la propuesta de colaboración a manos del Proyecto Especial Kuélap -encargado de la gestión arqueológica de la ciudadela de Kuélap-, quienes contestaron favorablemente y abrieron las puertas a la colaboración interinstitucional.

A partir de este momento, pasamos de una idea general a una cuestión particular, adaptando la definición del proyecto al objeto de estudio concreto: el sitio arqueológico de Kuélap. Esta propuesta fué presentada a dos convocatorias de ayuda a proyectos de cooperación:

- *Convocatoria Abierta Permanente 2010* de la AECID (Ministerio de Asuntos Exteriores y Cooperación)

- *Programa de Cooperación al Desarrollo 2010* del Centro de Cooperación al Desarrollo (CCD) de la UPV

Tanto la AECID como el CCD resolvieron favorablemente la concesión de las respectivas subvenciones, lo cual aseguró la viabilidad del proyecto y posibilitó que los objetivos y el tiempo de ejecución se ampliaran enormemente, para conseguir un resultado de gran integridad y calidad como el que finalmente se ha obtenido.

3. OBJETO Y OBJETIVOS DEL PROYECTO

El proyecto aplica al campo de la arqueología las últimas técnicas vinculadas a la simulación virtual en 3D, con el fin de documentar, conservar y difundir el patrimonio arqueológico de la Ciudadela de Kuélap, principal sitio arqueológico de la cultura Chachapoya en los Andes Amazónicos del Perú.

Se pretende llevar a cabo un proyecto integral y pluridisciplinar, donde se desarrollen diferentes técnicas computerizadas de representación arqueológica virtual orientadas a estos fines. Tal y como plantea la “Carta para la Gestión y Protección del Patrimonio Arqueológico”^[1] de 1990, el proyecto contempla como objetivo fundamental el conseguir un equilibrio sostenido entre investigación (contenido), conservación (sostenibilidad) y difusión (fin social). Cabe decir que si bien estos tres fines siempre se manifiestan de manera conjunta, en cada parte del proyecto cada uno de ellos adquiere diferente peso específico. En lo referente a la investigación, el PFC se ha desarrollado en colaboración con los arqueólogos y especialistas responsables de las intervenciones arqueológicas de Kuélap*, quienes han garantizado unos resultados con gran rigor científico y integridad intelectual. El fin de conservar el patrimonio arqueológico

se refleja en el registro documental de Kuélap obtenido con la visita virtual en base a fotografía esférica. Esta técnica de representación virtual ha permitido documentar de manera fidedigna el estado de la Ciudadela en el preciso momento en que se obtuvieron las fotografías, con la precisión que representa una visión 360° del campo visual.

Si bien la investigación y conservación son esenciales y están siempre presentes, quizá es en la difusión donde el proyecto pone más énfasis. La “difusión telemática” y el “prototipado” tienen sin lugar a dudas un fin social.

Se pretende acercar el conocimiento histórico preincaico y del patrimonio arqueológico de Kuélap tanto a los especialistas en arqueología y conservación como al gran público, fomentando el conocimiento y re-conocimiento de la cultura Chachapoya como pasado histórico propio de las comunidades locales.

Desde el punto de vista socio-económico, el proyecto fomenta la promoción de una actividad turística sostenible en Kuélap, basada en el turismo cultural, que genera ingresos para la población local, y que contribuye consolidar el turismo sostenible como actividad económica de peso en la región y como alternativa a la minería y la actividad agro-pecuaria.



Figura 1. Kuélap desde el aire. Proyecto Especial Kuélap - Gobierno Regional Amazonas

4. ANTECEDENTES

4.1 El sitio arqueológico de Kuélap:

Kuélap es un importante sitio arqueológico preincaico del Perú, considerado como ciudadela más significativa de la cultura Chachapoya y comparable en interés arqueológico y extensión al conocido Machu Picchu. Se estima que su construcción se realizó hacia el año 1000 d.C., coincidiendo con el periodo de máximo esplendor de la cultura Chachapoya. El sitio forma un conjunto arquitectónico de piedra de grandes dimensiones, ubicado en la cima de una montaña a 3.000 msnm, sobre el que se han catalogado más de 600 estructuras circulares, además de otras estructuras singulares. Su ubicación se encuentra en el margen izquierdo del río Utcubamba, en la provincia de Luya, región de Amazonas, cerca de su capital actual: San Juan de la Frontera de los Chachapoyas. Esta zona pertenece a los Andes Amazónicos, zona declarada hotspot de biodiversidad por la increíble riqueza fa

4.2 La entidad contra-parte: el PEK

El Proyecto Especial Kuélap -del Gobierno Regional de Amazonas) es el organismo encargado de -conducir, formular, planificar, gestionar y manejar los recursos culturales y naturales de la Región, que además son concebidos como Patrimonio (...) desarrollando y conduciendo acciones de intervenciones arqueológicas y puesta en valor del monumento considerado icono de la arqueología en Amazonas. [2]



Figura 2. Infografía de Ubicación Geográfica de Kuelap. Fuente: Elaboración propia a partir de infografía National Geographic [3] 198/3: 63-81

4.3 De la arqueología virtual

En los últimos años hemos podido presenciar un importante desarrollo de las Tecnologías de la Información y la Comunicación que han cambiado radicalmente la manera de concebir la comunicación y de presentar la información y han dado lugar una serie de herramientas informáticas que se han desarrollado ampliamente en campos como la ingeniería, la arquitectura, el diseño, o el desarrollo de videojuegos. En este contexto, y como una nueva disciplina científica, ha emergido la arqueología virtual, que utiliza estas nuevas tecnologías para satisfacer las necesidades propias de la arqueología.

El concepto Virtual Archeology (Arqueología

Virtual), fue propuesto por primera vez por Paul Reilly en 1990, describiéndolo como “el conjunto de técnicas informáticas que permiten la visualización 3D de la representación virtual y realista de los objetos y edificios antiguos, cuyos restos han desaparecido o están en un estado de preservación tan deficiente que hacen imposible su observación o muy difícil su interpretación” [4]. En los principios de la carta de Sevilla se recoge otra definición de “arqueología virtual” mas actual: la disciplina científica que tiene por objeto la investigación y el desarrollo de formas de aplicación de la visualización asistida por ordenador a la gestión integral del patrimonio arqueológico [5].



Figura 3. Reconstrucción virtual de Kuélap. Fuente: RTVE Documental: La Joya, los guerreros de la niebla [6]

5 TÉCNICAS COMPUTERIZADAS DE REPRESENTACIÓN ARQUEOLÓGICA VIRTUAL

Uno de los primeros pasos en el desarrollo de cualquier proyecto de diseño es el de consultar cómo otros autores han resuelto previamente el mismo problema que se pretende resolver, porque sólo así se pueden plantear soluciones que marquen la diferencia y aporten valor añadido.

El campo de la arqueología virtual es muy amplio, y cada caso plantea una metodología que varía según su naturaleza y fines. Existen diferentes enfoques en la representación arqueológica virtual según su objetivo. Por un lado tenemos la documentación gráfica, es decir, el objetivo de representar virtualmente el objeto de estudio salvaguardando toda la información gráfica y volumétrica para su estudio e interpretación arqueológica.

En este sentido, existen técnicas por medio de las cuales se puede obtener un “clon virtual” del objeto de estudio, una réplica digital de su forma y su textura para el registro documental.

Otro objetivo de la arqueología virtual es la investigación. En este caso, las nuevas tecnologías se ponen al servicio de la interpretación arqueológica. En este contexto se inscribe el concepto de “anastilosis virtual”, que es el estudio arqueológico que utiliza como método la re-composición virtual de una ruina arqueológica en un modelo 3D a partir de la re-composición de las partes existentes pero desmembradas. El modelo virtual en este caso sirve como herramienta analítica, permitiendo definir, comprobar y/o descartar hipótesis reconstructivas.

Por otro lado, muchos proyectos de arqueología virtual están orientados a la difusión, es

decir, que su objetivo principal es el de transmitir el conocimiento arqueológico a un gran público y/o a un público especializado, a través de la imagen como medio principal de comunicación gracias a su enorme capacidad de síntesis.

En la búsqueda documental de técnicas computerizadas de representación arqueológica virtual, cabe destacar, por su relevancia, la publicación *Virtual Archaeology Review* [7]; la primera revista científica internacional dedicada monográficamente al campo de la arqueología virtual. También encontramos excelentes ejemplos de virtualización del patrimonio histórico en el portal web <http://www.patrimonioclm.es> [8], de la Consejería de Cultura de Castilla la Mancha, y en la página www.cybermuseum.es [9], dedicada a los proyectos de Cibernuseología desarrollados desde el grupo de investigación Urbs (Universidad de Zaragoza).

Después de este pequeño estudio del estado de la técnica, pasamos a describir brevemente las principales características de las técnicas que a nuestro parecer son más significativas en cuanto a la representación arqueológica virtual:

- Fotografía esférica 360°
- Fotogrametría
- Laser Scanner 3D
- **Diseño asistido por ordenador (CAD-3D)**
- Aplicaciones interactivas 3D en tiempo real
- Prototipado Rápido

5.1 Fotografía esférica 360°

La fotografía esférica es una técnica de visualización computerizada basada en la fotografía digital, que permite al usuario contemplar un lugar en la pantalla con un gran nivel de realismo. Esta técnica permite generar aplicaciones interactivas donde es posible mover el campo visual en todas direcciones (como si moviéramos la cabeza) y explorar 360° alrededor del observador. Se trata de un sistema de realidad virtual, que intenta reproducir el sentido humano de la vista, creando un efecto inmersivo en la fotografía gracias a su interactividad. La metodología consiste en capturar fotográficamente 360° alrededor del punto nodal de la cámara*, con un cierto solape entre tomas,

PROS

- Bajo coste
- Realismo fotográfico
- Elevada interactividad
- Archivos livianos
- Carga rápida
- Excelente implementación web

para luego procesar digitalmente estas fotografías y “coserlas”, obteniendo como resultado una fotografía que contiene todo el entorno esférico. A esta fotografía se le llama “panorama equirectangular”, y se le puede añadir interactividad y crear el efecto inmersivo mediante softwares específicos que permiten la exportación a formato flash o html 5. Algunos de estos softwares, como el Pano2vr, permiten la creación y edición de interfaz gráfica del usuario (GUI) que sirven para controlar las acciones de la aplicación por el usuario (girar izquierda, derecha, arriba, abajo, zoom in, zoom out, maximizar, minimizar, auto-rotar, etc)

CONTRAS

- Equipo fotografico especializado
- Sin información volumétrica medible
- Requerimientos de software
- Movimiento restringido: No permite el libre desplazamiento por el espacio virtual, sólo la rotación esférica

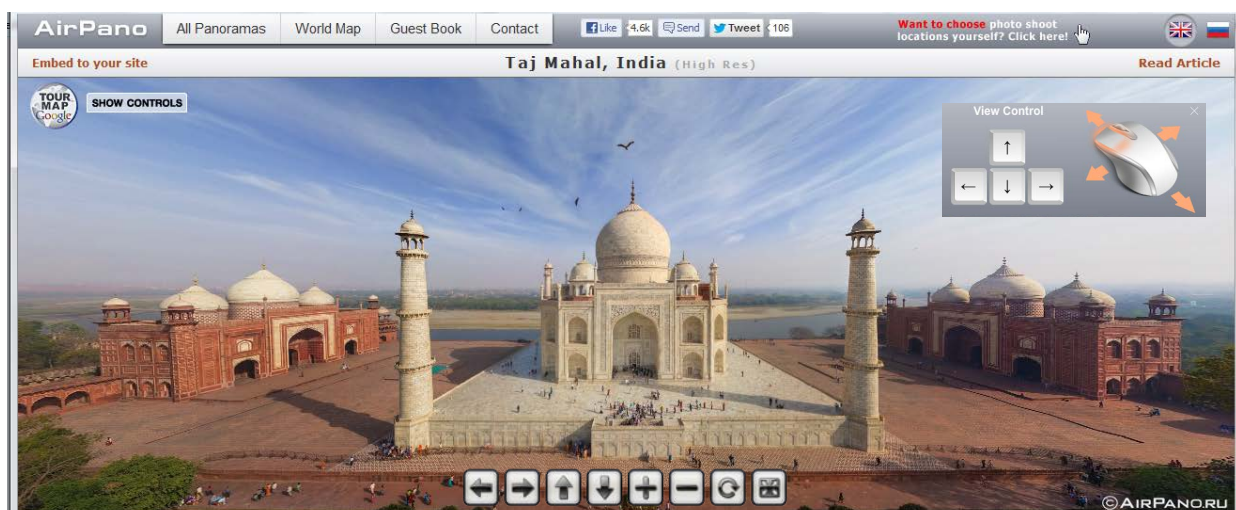


Figura 4. Visita virtual esférica del Taj Mahal, India. Airpano.ru [9]

5.2 Fotogrametría digital

La fotogrametría puede definirse como *el arte, ciencia y tecnología cuyo fin es el de obtener información cuantitativa fiable relativa a objetos físicos y su entorno, mediante procesos de registro, medida e interpretación de imágenes fotográficas* ^[11] (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing- 1979).

La parte digital de esta disciplina permite generar modelos 3D a partir de fotografías 2D mediante el uso de softwares especializados, obteniendo las características métricas y geométricas (dimensión, forma y posición), del objeto fotografiado. Este proceso se basa en las relaciones matemáticas de la geometría proyectiva y de la visión estereoscópica que posee de manera natural el ser humano.

PROS

- Bajo coste
- No requiere de equipos especializados
- Buenos resultados con una cámara DSLR
- Se puede alcanzar una elevada precisión
- Información volumétrica medible
- No invasiva

El gran desarrollo que ha tenido la fotogrametría digital en los últimos años ha permitido una enorme popularización de la disciplina gracias a que los equipos fotogramétricos de elevado costo están siendo desplazados por softwares de menor precio. Esta técnica se ha convertido en una buena alternativa a los scanners lasers. Actualmente, los programas informáticos de fotogrametría han alcanzado un elevado nivel de automatismo, hasta el punto de ser capaces de generar automáticamente modelos de elevación del terreno, orto-imágenes, estereortoimágenes, y especialmente modelos tridimensionales a partir de buenas fotografías de partida tomadas con dianas que el programa reconoce.

CONTRAS

- Requiere de softwares de elevado coste
- Archivos pesados
- No implementable directamente en web

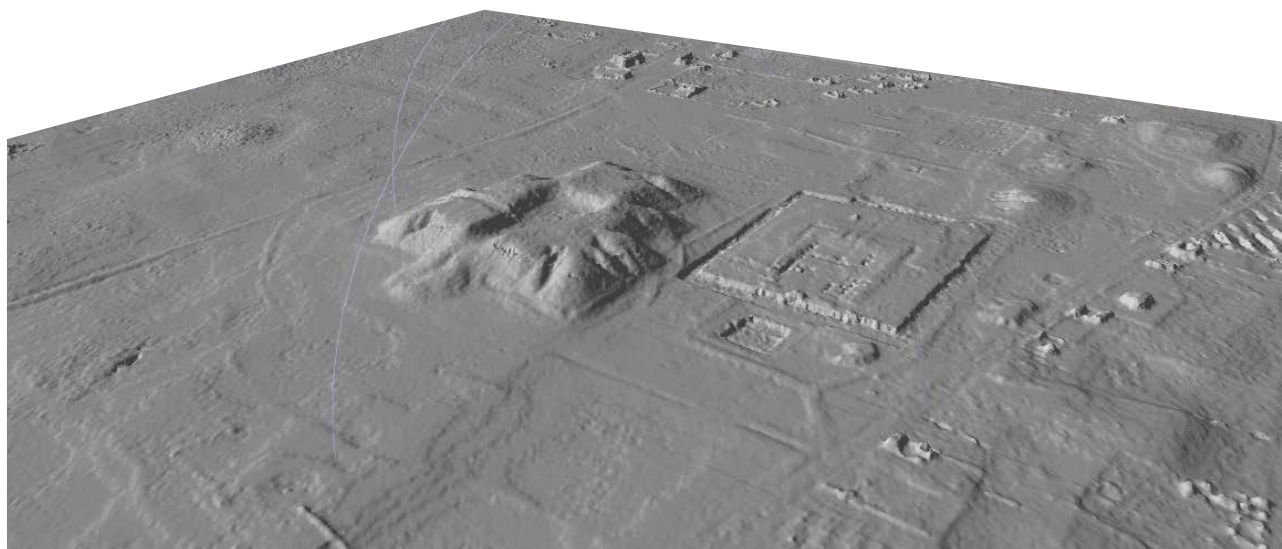


Figura 5. Modelo fotogramétrico de Tiwanaku, Bolivia. Center for Advanced Spatial Technologies - University of Arkansas ^[12]

5.3 Láser Scanner 3D

El Láser Scanner permite obtener gran cantidad de medidas en forma de coordenadas espaciales en un sistema de referencia propio y en un tiempo muy breve. Con la repetición de las medidas desde distintas posiciones sucesivas y su posterior unión en un único sistema de referencia a través del reconocimiento de puntos homólogos, se obtiene un modelo 3D de un entorno complejo. La nube de puntos global obtenida de la toma de datos de la realidad se complementa e integra con imágenes digitales a alta resolución y se optimiza para una mejor gestión de los datos.^[13]

(Marambio, A.; Biere, R.M. "Patrimonio Cultural de España")

El resultado que obtenemos con el láser scanner es un resultado en bruto, que requiere de un mallado y un texturizado para su correcta visualización. La mayor ventaja del scanner láser es la increíble precisión en la definición espacial del objeto y la velocidad en la toma de datos. No obstante, para los fines de la arqueología esto no es suficiente. Muchas veces no se requieren precisiones geométricas tan grandes y se prioriza obtener una buena definición gráfica, con un texturas de calidad. Por este motivo, para conseguir un buen resultado es necesario el uso de softwares especializados que optimicen el modelo de nube de puntos obtenido con el láser-scanner.

PROS

- Precisión geométrica milimétrica
- Velocidad en la toma de datos
- Información volumétrica mensurable
- No invasiva

CONTRA

- Alto coste (equipos)
- Grandes volúmenes de datos
- Archivos pesados
- Requiere de ajustes en el modelo obtenido
- No implementable directamente en web
- Tiempos post-proceso



Figura 6. Reconstrucción virtual de la "Fuente de los Leones" con modelos obtenidos mediante Laser Scanner. ^[14]
P. Cano, F. Lamolda, J. Torres y M. Villafranca VAR. Vol. 1 Num 2. ISSN: 1989-9947

5.4 Diseño asistido por ordenador (CAD-3D)

Un modelador 3D es un software de diseño asistido por ordenador (CAD/CAM) que permite la creación y edición de sólidos, superficies y demás entidades geométricas, con posibilidad de aplicar materiales y texturas, controlar la iluminación de la escena y realizar renders y animaciones. Estos softwares permiten la creación de una entidad 3D a partir de planimetría, levantamientos topográficos y/u otra información geométrica, como también la importación de modelos obtenidos mediante otras técnicas. Mientras los modelos fotogramétricos o láser scanner se basan en un “escaneado 3D” del objeto físico original con una enorme cantidad de coordenadas

espaciales, los modelos creados con programas como 3Ds Max o Rhinoceros están basados en la formulación matemática de la geometría y por tanto suelen ser modelos mucho más livianos y simples que la tradicional nube de puntos, a la par que menos rigurosos en la reproducción de la geometría original. Con el control de materiales, texturas y luces, se pueden lograr resultados foto-realísticos de alta calidad. El modelo 3D obtenido no es un resultado final para el público. Los requerimientos específicos de cada proyecto determinarán el formato de salida, que puede ser en forma de render, animación, pdf interactivo, aplicación navegable, etc.

PROS

- Bajo coste
- No requiere de equipos especializados
- Se puede combinar con otras técnicas
- Gestión matemática de la geometría
- Se pueden generar resultados foto-realísticos
- Información métrica y geométrica mensurable
- Exportación a gran cantidad de formatos
- Modelos para la fabricación

CONTRAS

- Poca precisión en la reproducción fidedigna
- Requiere de gran conocimiento del software
- Tiempo de renderizado altos geom. complejas
- No implementable en web directamente



Figura 7. Reconstrucción virtual de la villa romana La Olmeda. Modelo 3D [15]
Balawat VAR. Vol. 1 Num. 1 ISSN: 1989-9947

5.5 Aplicaciones interactivas 3D en tiempo real

Actualmente el estado de la técnica de las aplicaciones interactivas en 3D ha evolucionado de manera muy significativa, especialmente impulsado desde el sector de los videojuegos. Esto se plasma en la calidad gráfica y gran velocidad de renderizado que permiten los hardwares disponibles en el mercado. La tecnología que poseen los motores de videojuegos tiene una gran aplicación en la visualización virtual del patrimonio arqueológico, ya que permite la navegación total por un espacio tridimensional con un elevado nivel de interactividad. Softwares como Quest3D o Unity permiten la importación de un modelo o escenario 3D -escaneado y/o modelado

PROS

- Bajo coste
- No requiere de equipos especializados
- Gran nivel de interactividad
- Libertad de movimiento - entornos navegables
- Modelos para la visualización
- Información métrica y geométrica mensurable

con otros softwares- para crear un escenario interactivo en que el usuario podrá moverse libremente, sobrevolarlo o realizar los comportamientos programados. Con estos softwares se le puede dar un gran nivel de realismo y lograr un enorme efecto inmersivo, ya que son capaces de controlar todo el entorno, como los efectos atmosféricos, el cielo, el terreno, etc. Una opción muy interesante aplicada a la arqueología virtual es la de poder visualizar las diferentes fases constructivas de un sitio arqueológico a través de una línea de tiempo, tal y como muestra la fig. X., donde se aplican las capacidades de los videojuegos a la gestión del patrimonio.

CONTRAS

- Requerimientos gráficos de hardware
- Archivos pesados
- Conocimientos de programación

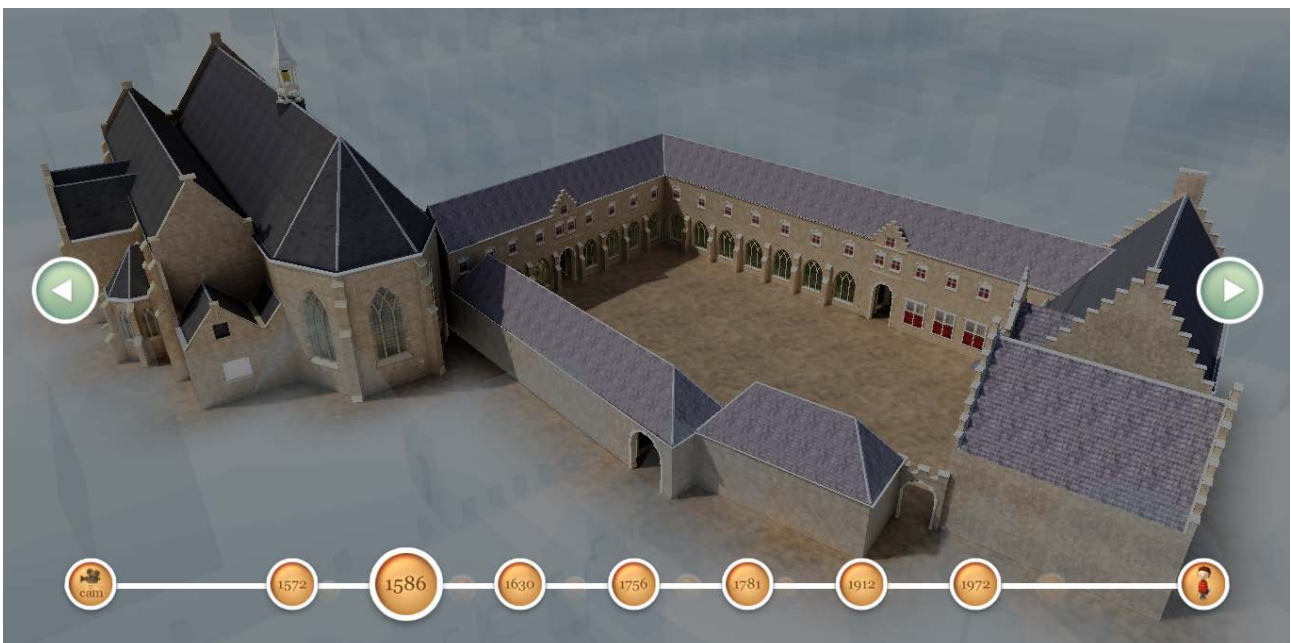


Figura 8. "Monastery of Dordrecht". Aplicación interactiva desarrollada con Quest 3D. Paladin Studios. [16]

5.6 Prototipado Rápido

El Prototipado Rápido es una tecnología que permite producir modelos y prototipos físicos con una impresora 3D directamente a partir del modelo tridimensional generado en el sistema CAD-3D. Esta tecnología tiene su mayor aplicación en el diseño industrial, aunque también podemos encontrar algunos ejemplos de su empleo en el campo del maquetismo arquitectónico. En los últimos años, el desarrollo de la industria de impresoras 3D ha conllevado una importante caída en los precios de estos equipos, aunque siguen lejos de ser asequibles para un usuario no profesional. En lo referido al tema de maquetas arqueo-

lógicas, un modelo a escala puede ser una buena fórmula para hacer comprensible espacialmente un sitio arqueológico, sus dimensiones, sus partes y las relaciones que se establecen entre estas. La experiencia de visitar físicamente un sitio arqueológico muchas veces resulta insuficiente para entender su arquitectura, ya que el visitante se encuentra demasiado próximo al objeto arqueológico como para tener una concepción general. Una maqueta arqueológica proporciona una visión espacial del sitio, y a la vez permite representar hipótesis arqueológicas de como sería el sitio en plena ocupación.

PROS

- Modelo físico de gran precisión
- Posibilidad de impresión a colores
- Modelos importables desde CAD-3D

CONTRAS

- Elevado coste (maquinaria y consumibles)
- Equipos especializados (impresora 3D)
- Impresión limitada a pequeños volúmenes
- Tratamiento post-prototipado

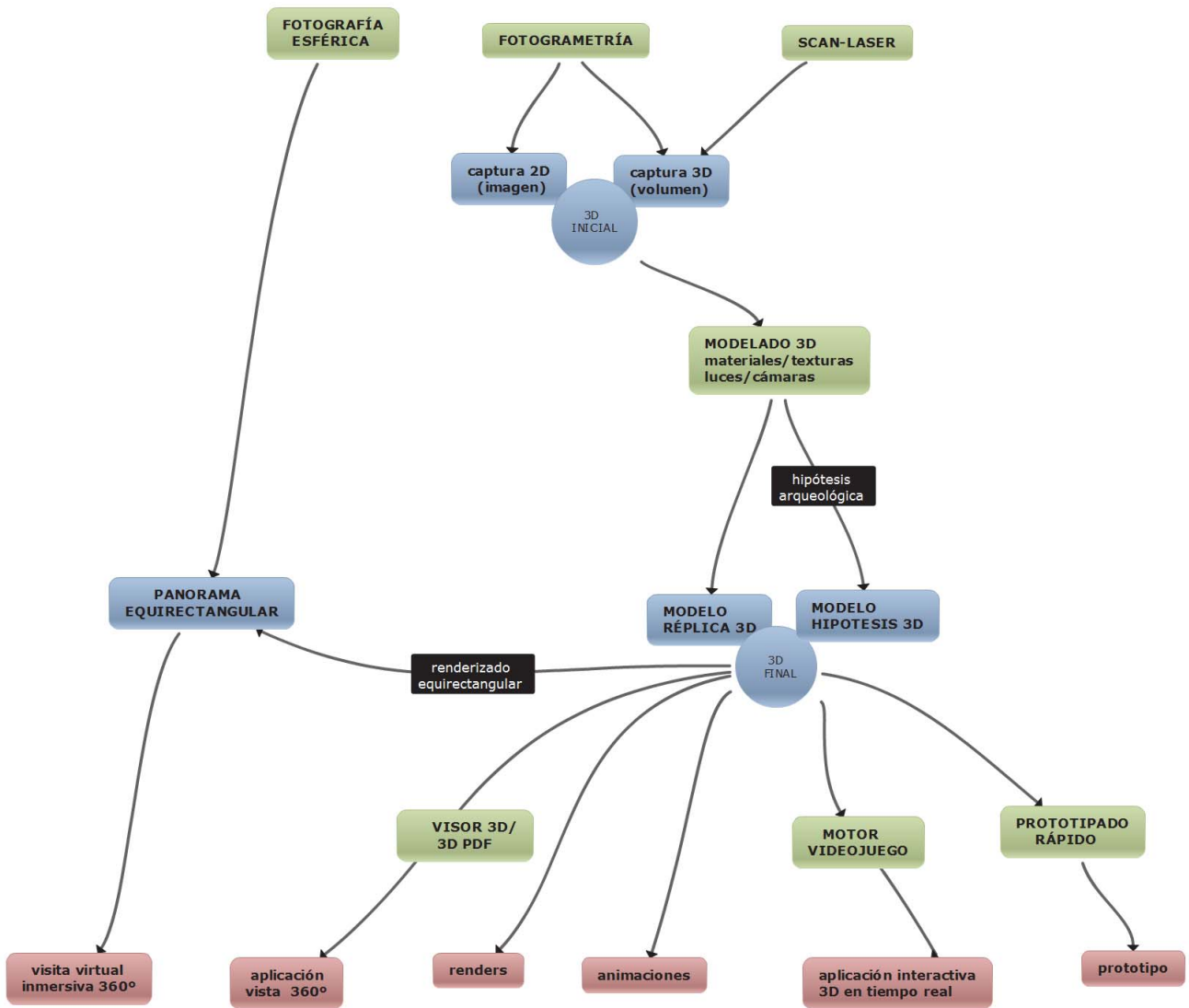


Figura 9. Maqueta imprimida con impresora 3D ZPrinter 350. Facultad de Arquitectura de Miklos.

5.7 Tabla-resumen de software aplicado a la simulación virtual:

Fotografía esférica inmersiva			
PANO2VR	KRPAÑO	EASYPANO	
Costura fotográfica			
PTGUI	HUGIN		
Objeto 360°			
OBJECT2vr	3D ROTATE TOOL		
Modelado 3D			
RHINOCEROS	3DS MAX	SKETCHUP	
Motores de videojuego			
QUEST3D	UNITY		
Fotogrametría			
PHOTOMODELER	STRATA3D	PHOTOSCAN	

5.8 Diagrama técnicas/resultados



- técnica empleada
- resultado intermedio - procedimental
- resultado final

6. PRESENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN ELEGIDA

Como fruto de la coordinación entre los diferentes especialistas que participaron en el proyecto, y de manera especial con la dirección arqueológica y la dirección del PFC, se definió en detalle y se programó la ejecución del proyecto en relación a las necesidades que se planteaban y los recursos de que se disponía. El proyecto, como se observa en el título, planteaba desde sus inicios dos productos diferenciados: simulación virtual y prototipado. Para el primero, finalmente y tomando en consideración las necesidades de los arqueólogos, se eligió la técnica de la fotografía esférica inmersiva, con el propósito de ofrecer una visita virtual fidedigna y con realismo fotográfico de Kuélap en el estado en que lo encontramos hoy en día.

Esta técnica se consideró la más indicada por los siguientes motivos:

- Buenos resultados gráficos
- Buena implementación en web
- Realismo fotográfico
- Facilidad de inserción de textos y gráficos
- Capacidad de editar la GUI
- Softwares asequibles
- Equipos asequibles
- Archivos livianos / carga rápida

Por otra parte, el prototipado estaba necesariamente vinculado al uso de CAD/CAM. En el momento en que se inició el PFC, un equipo de topógrafos del PEK estaba realizando un

levantamiento topográfico con estación total de Kuélap. Se consideró que los resultados que se obtuviesen al finalizar este trabajo podrían ser útiles como datos de partida para la generación de un modelo 3D de la ciudadela de Kuélap sobre el que realizar una “reconstrucción arqueológica” para mostrar su estado en plena ocupación.

Gracias al levantamiento topográfico no fue necesario el uso de la fotogrametría o el láser scanner, que por otro lado tampoco eran viables económicamente. En un primer momento se consideró la posibilidad de realizar una aplicación interactiva 3D en tiempo real tipo videojuego, pero pronto esta posibilidad fue descartada por su inviabilidad en tiempo y costos.

Finalmente, la ejecución del proyecto se definió en 4 fases:

FASE 1:

Simulación virtual de Kuélap a partir de la técnica de la “fotografía esférica”.

FASE 2:

Diseño y publicación del portal kuelapvirtual.com (API Google Earth, diseño flash, programación HTML y javascript)

FASE 3:

Construcción de un modelo virtual a partir la técnica de “modelado 3D con Rhinoceros”.

FASE 4:

Prototipado con impresora 3D (Z-Printer 450, Dep. de Proyectos de Ingeniería - UPV)

7. REQUISITOS DE DISEÑO

7.1 Del recorrido virtual

Intuitivo: La aplicación debe ser intuitiva para que cualquier usuario no familiarizado con las nuevas tecnologías acceda a los contenidos de manera simple

Atractivo: Debe contar con un diseño atractivo que motive al usuario a navegar por la aplicación.

Visual: Los contenidos deben ser lo más gráficos posible, aplicando la capacidad de síntesis de la imagen y su valor como medio propagandístico.

Riguroso: En consonancia con los principios de la arqueología virtual descritos en la “Carta de Sevilla” el rigor científico debe estar garantizado.

Interactivo: La aplicación debe permitir una interacción a modo de diálogo entre ordenador y usuario

Inmersivo: La visita virtual debe de producir una apariencia de realidad que permita al usuario tener la sensación de estar presente en ella.

Responsivo: El diseño web debe adaptarse y visualizarse correctamente en los diferentes formatos de pantalla existentes en el mercado

Compatible: El portal debe ser compatible con los principales navegadores, hardwares y sistemas operativos.

Económico: El coste de desarrollo y mantenimiento debe adaptarse a los recursos de que se dispone

Innovador: La aplicación debe de aportar soluciones que marquen la diferencia y aporten valor añadido.

Masivo: Debe llegar a un gran público utilizando internet como medio para ello.

7.2 Del prototipo arqueológico

Fidedigno: El modelo 3D y en consecuencia el prototipo arqueológico deben de reproducir con exactitud el modelo original (Kuelap y su entorno).

Eficiente: Se deben obtener unos resultados de calidad optimizando la cantidad de consumibles necesarios en la fabricación.

Resistente: Los módulos requieren de cierta resistencia que permita su manipulación y garantice su integridad tras el envío de España a Perú.

Modular: Debido a las limitaciones en cuanto al área imprimible de la Z-Printer, el diseño debe ser modular sin sobrepasar las dimensiones de 203 x 254 x 203 mm por módulo

Alta resolución: Las imágenes aplicadas a la maqueta como mapas de texturas deben de contar con una alta resolución que evite la apariencia pixelada

Informativo: La maqueta debe contar con un espacio que informe de su título, escala y norte geográfico, además de autores y financiadores. En la parte dedicada al entorno de Kuelap, además, la maqueta debe informar de los nombres propios de los accidentes geográficos y demográficos en base a los topónimos de un mapa físico.

8. FASES DE DESARROLLO:

8.1 FASE 1: Simulación Virtual de Kuélap - Técnica de la "fotografía esférica"

En esencia, como ya hemos comentado anteriormente, esta técnica se basa en la obtención de una imagen completa de 360x360 grados de todo lo que nos rodea (panorama equirectangular), que posibilita la creación de una aplicación interactiva donde el usuario tiene la sensación de encontrarse físicamente allí donde se toma (inmersión). El primer paso en esta primera fase fue la adquisición del equipo fotográfico, elegido con el asesoramiento de los expertos de

www.viajesvirtuales.com ^[17], a los hay que agradecer todo el apoyo prestado. La compra se realizó por internet en las empresas de Estados Unidos B & H y Nodal Ninja. El equipo fotográfico utilizado fue el siguiente:

- Cámara DSLR Nikon D300s
- Objetivo Nikkor 10.5mm "ojo de pez"
- Rotador RD16 Nodal Ninja
- Cabezal panorámico Nodal Ninja 3 MKII
- Trípode manfrotto
- Cable disparador remoto



AF DX Fisheye-Nikkor 10.5mm f/2.8G ED



Cámara DSLR Nikon D300s



Rotador RD16 Nodal Ninja



Cabezal panorámico Nodal Ninja 3 MKII



Trípode manfrotto



Cable disparador remoto

8.1.1 Calibración del cabezal panorámico

La clave para obtener unos buenos resultados reside principalmente en la precisión de las fotografías originales. El panorama equi-rectangular se consigue con la unión de varias fotografías, por lo cual es esencial que estas estén tomadas adecuadamente para que el software encargado de la costura fotográfica (stitching) pueda realizar bien las uniones. El principal problema a evitar es el efecto “parallax”. Si giramos la cámara con un cabezal convencional, notaremos que la posición aparente entre objetos situados en diferentes planos de profundidad varía con el ángulo (ver figura 11) con lo que se producirán deformaciones o interpolaciones extrañas al unir las imágenes con la consecuente falta de definición y calidad. Para evitar esto utilizaremos el “cabezal panorámico”, que permite girar la cámara alre-



Figura 10. Calibración del cabezal panorámico Nodal Ninja

dedor del punto nodal, también llamado “punto de pupila” o “punto de no paralaje”, con lo que evitamos esta distorsión. Para ello será necesario ajustar el cabezal panorámico tal y como se muestra en la figura 10, ya que para el caso del objetivo Nikkor 10.5mm el punto nodal se encuentra en el plano definido por el anillo dorado. Aún con esta información, siempre es recomendable ajustar el cabezal panorámico comprobando que se ha erradicado por completo el efecto parallax. Esto se consigue situando dos objetos verticales a diferentes profundidades. Rotando la cámara, si observamos que la posición relativa entre dos objetos varía lo más mínimo, quiere decir que tiene parallax. Para solucionar esto hay que deslizar la cámara y objetivo hasta que el efecto desaparezca.

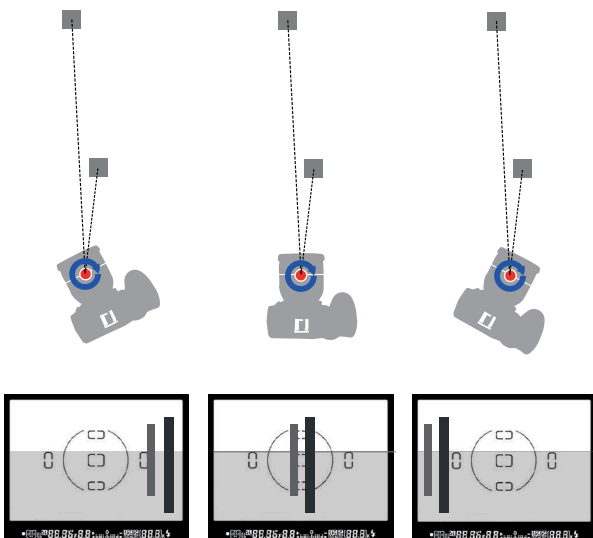


Figura 11. Rotación calibrada alrededor del NPP

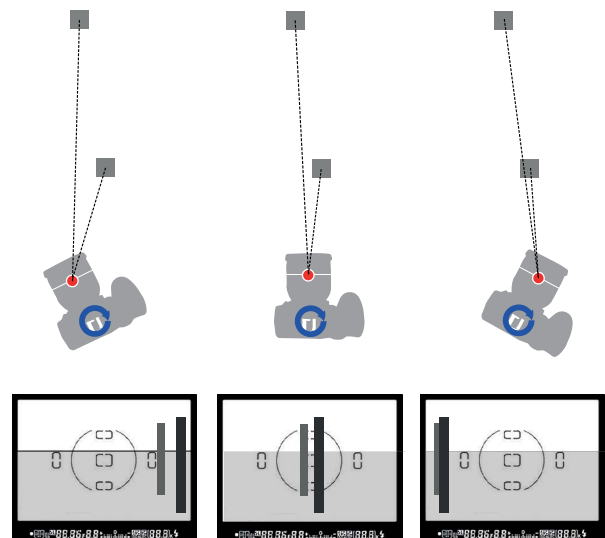


Figura 12. Rotación convencional no calibrada
Elaboración propia inspirada en Big Ben's Panorama Tutorials [18]

8.1.2 Trabajo de campo. Fotografiando Kuélap

Conjuntamente con el equipo arqueológico, se seleccionaron los puntos que se consideraron de mayor interés para realizar los panoramas. Finalmente fueron 19 los elegidos, suficientes para mostrar el conjunto arqueológico en profundidad y especialmente para exhibir sitios no accesibles al visitante, como el interior del Templo Mayor o el interior de una tumba de la élite; un importante hallazgo que se produjo justo al iniciar el proyecto.

La técnica empleada para cada panorama consistió en capturar 360°x360° con 6+2 tomas; esto es 6 tomas horizontales (una cada 60°), más las capturas del zenit y el nadir. Para controlar el ángulo de giro de la cámara, fue muy útil el rotador R16, que permitió fijar el ángulo de giro en 60° y rotar así la cámara con total exactitud y comodidad.

de los puntos, para no encontrarse después con problemas en la postproducción. Por eso, se puso más peso en el trabajo de edición digital que en la fotografía de campo, y se decidió capturar las imágenes en formato RAW*, que es un formato de archivo digital de imágenes que contiene la totalidad de los datos de la imagen tal y como ha sido captada por el sensor digital de la cámara fotográfica, sin la compresión JPG habitual. También se hizo uso del bracketing, que es una función

de la cámara que permite la captura automatizada de un mismo tema variando el valor de exposición (EV), con lo que obtuvimos una secuencia escalonada de exposiciones por cada imagen.

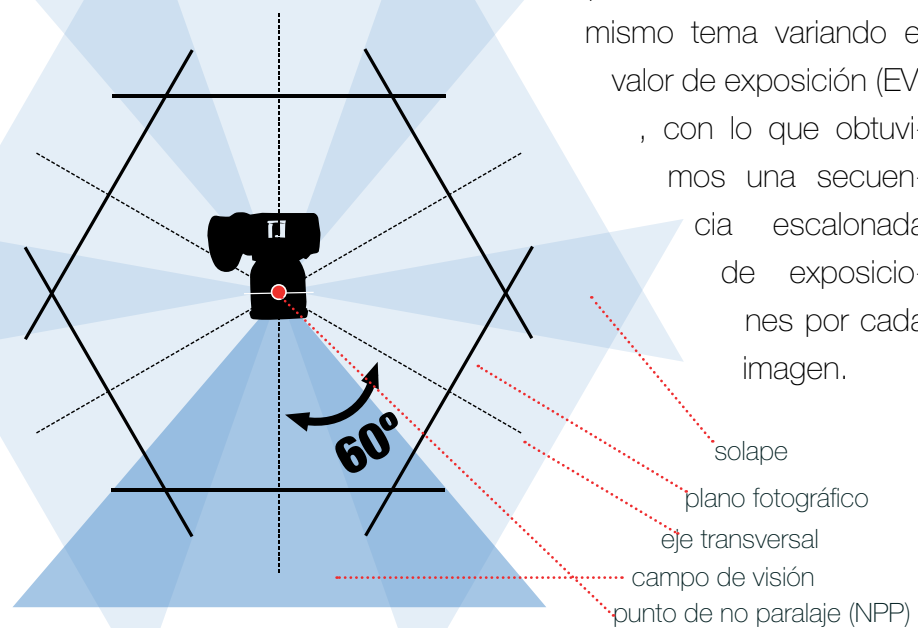


Figura 13. Proceso de captura fotográfica esférica.
Elaboración propia

La fig. 13 intenta representar el sistema empleado en la captura fotográfica. Como se aprecia, existe una cierta zona de solape, necesaria para poder obtener un buen panorama equirectangular con la edición fotográfica. Debido a la dificultad de acceso a la ciudadela de Kuélap, se intentó aprovechar al máximo cada desplazamiento y capturar la mayor información fotográfica posible desde cada uno

de los puntos, para no encontrarse después con problemas en la postproducción. Con este método nos asegurábamos de captar la máxima información fotográfica "en bruto" y manera sistemática, para poder llegar a los resultados deseados con el uso de softwares empleando la técnica de High Dynamic Range. Además del aspecto práctico, el uso del formato RAW y del HDR se justifica por la voluntad de exploración en el campo de técnicas digitales de edición fotográfica.

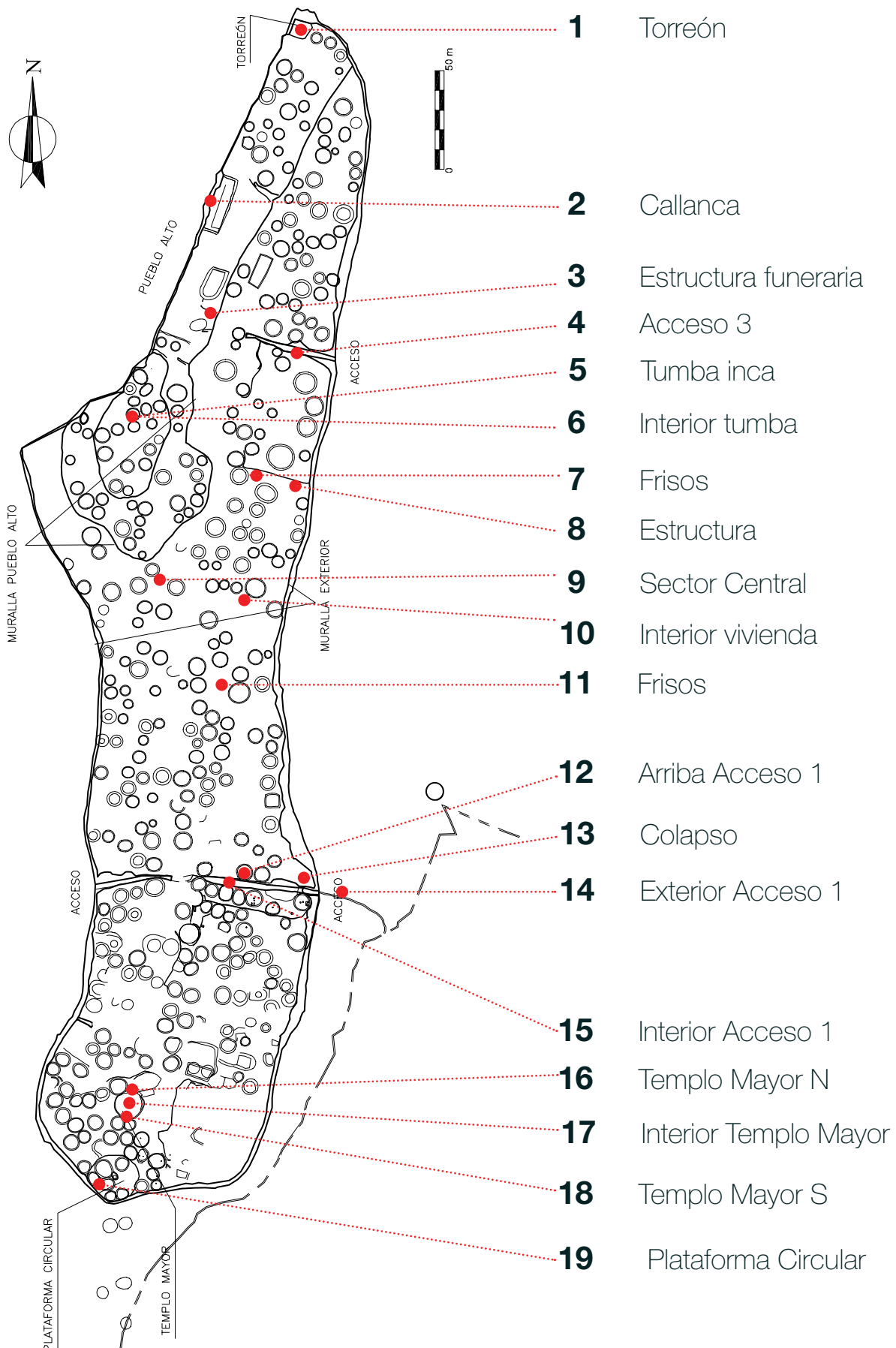


Figura 14. Puntos interactivos elegidos para la visita virtual de Kuelap. Elaboración propia. Plano: PEK - GRA



Figura 15. Fotografiando la parte superior del Acceso 1
Foto: Marla Toyne



Figura 16. Fotografiando el interior de la Tumba Inca del Pueblo Alto. Foto: Marla Toyne



Figura 17. Preparación de la captura esférica de la Tumba Inca, minutos antes de su levantamiento arqueológico.
Foto: Marla Toyne

8.1.3 Procesado digital

Una vez recopilada una gran cantidad de material fotográfico, llegó el momento de la edición digital de este material. Las posibilidades en cuanto al flujo de trabajo a desarrollar eran enormes; el hecho de combinar la fotografía panorámica con el HDR/Exposure fusion ampliaba enormemente el número de variables en el flujo de trabajo, ya que son necesarias un gran número de operaciones a desarrollar, y la casuística derivada del orden en que estas se ejecutan y con qué software es muy grande. Por este motivo se consultó a especialistas en fotografía digital y se realizaron numerosas pruebas con distintos softwares y procesos hasta llegar a definir un flujo de trabajo sistemático óptimo para ser aplicado a la edición de todos los panoramas.

En este sentido fue inestimable la ayuda aportada por el especialista en fotografía digital Guillermo Luijk a través de los artículos de su web ^[19] y especialmente por compartir libremente el software “Zeronoise” ^[20] del cual es el autor y que empleamos en nuestro proyecto. La primera decisión a la hora de definir la metodología fue elegir si realizar primero la fusión (HDR / Exposurefusion) y seguidamente la costura fotográfica (Stitching) o hacerlo en el orden inverso. Las fig. 19 y 20 ilustran estas dos posibilidades y sus implicaciones en la manera de trabajar las fotografías. Las dos opciones son muy válidas y se pueden conseguir resultados similares, así que nos decantamos por hacer la fusión primero y la costura después por considerarlo más práctico. Como referente nos parece importante mencionar un *workflow* basado en el método pro-

Figura 18. Procesando digitalmente los datos fotográficos.

puesto por Luijk (ver figura 21). Se trata de un sistema que comprende la fusión de imágenes con Zeronoise y la costura fotográfica con PTGui, que tiene como fundamento la minimización del ruido* de la fotografía -que es uno de los principales problemas del HDR- con un gran nivel de control manual en la edición fotográfica y perdiendo la mínima cantidad de información fotográfica en cada paso. No obstante, a pesar de los buenos resultados, el trabajo era excesivamente tedioso, ya que las operaciones a realizar eran excesivas, además de la enorme cantidad de archivos intermedios que se generaban. Era necesario tratar de sistematizar y agilizar el trabajo sin renunciar a la calidad de los resultados, lo que condujo finalmente al flujo de trabajo que finalmente decidimos utilizar en el proyecto:

- Balance de Blancos con Zeronoise
- Revelado RAW neutro con Zeronoise
- Exposure Fusion con Tufuse
- Costura fotográfica con PTgui
- Retoque fotográfico con Photoshop
- Interactividad y GUI con Pano2vr

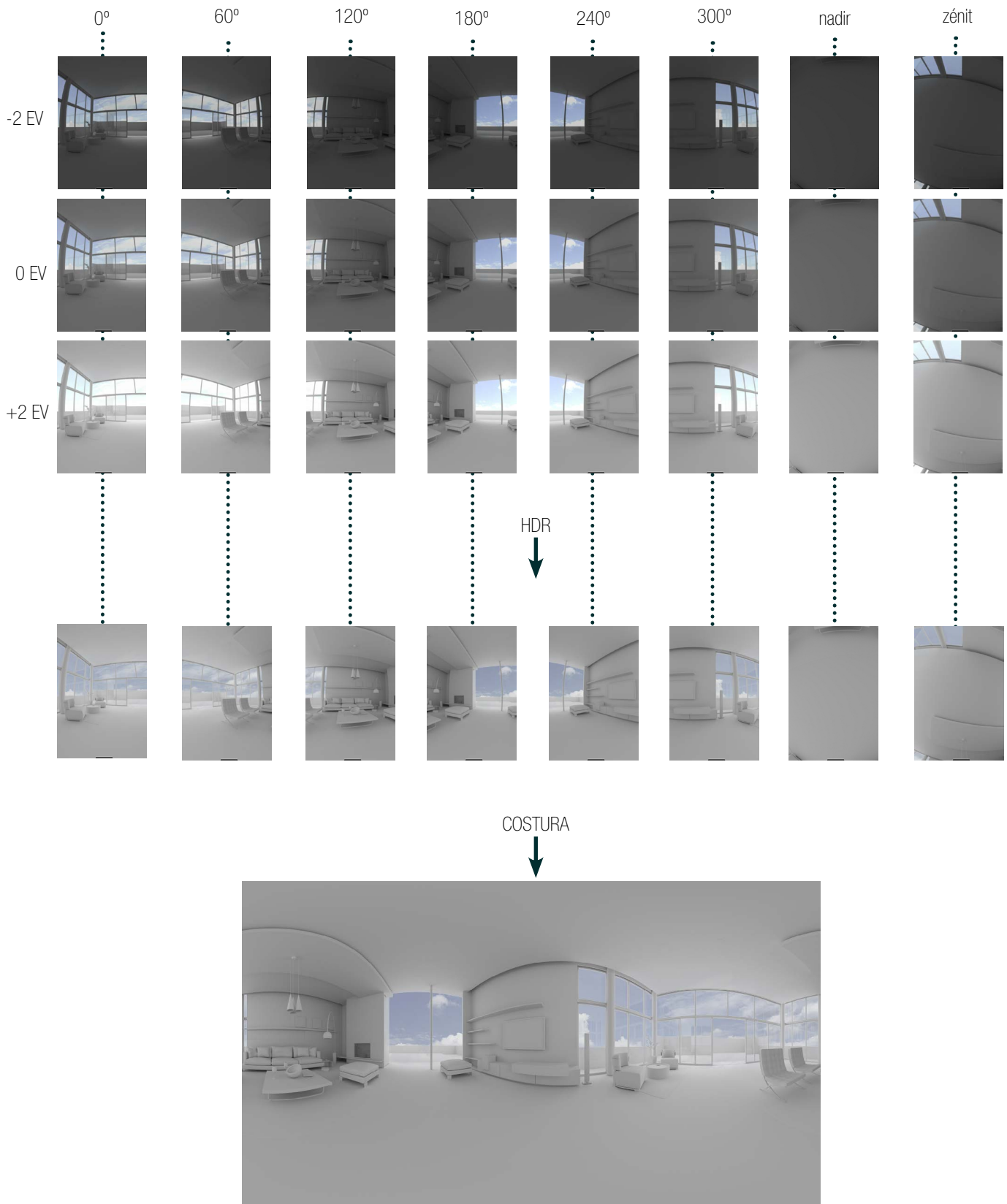


Figura 19. Proceso de fusión HDR más costura fotográfica para la obtención de una imagen equirectangular
Obra derivada a partir del tutorial "VR with Modo and Pano2VR" - <http://www.vertextutor.com/vr-with-modo-and-pano2vr>^[21]

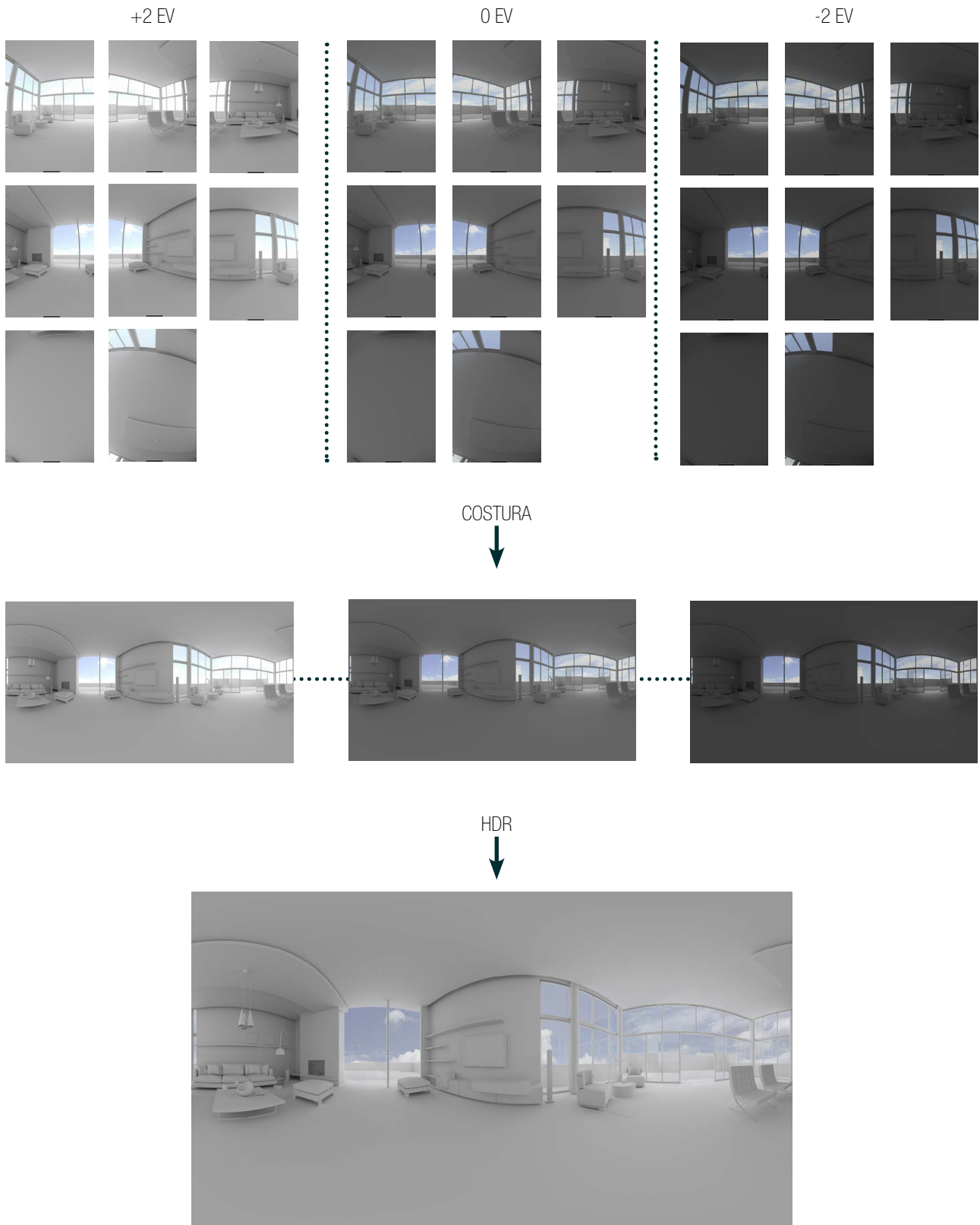


Figura 20 Proceso de costura fotográfica más fusión HDR para la obtención de una imagen equirectangular HDR
Obra derivada a partir del tutorial "VR with Modo and Pano2VR" - <http://www.vertextutor.com/vr-with-modo-and-pano2vr-part-01/>

8.1.3.1 Revelado RAW

El formato fotográfico RAW, que en el caso de cámaras Nikon corresponde a la extensión de archivo .NEF, es un tipo de archivo “en crudo”, es decir que conserva la máxima información fotográfica de la escena tal y como ha sido captada por el sensor digital de la cámara fotográfica. Se trata pues de un “negativo”, que requiere de un “revelado” para poder visualizarse como imagen final. Existen numerosos reveladores RAW como el Adobe Lightroom o el propio revelador de Nikon (ViewNX), pero finalmente nos decantamos por emplear el programa Zeronoise porque nos permite definir el Balance de blancos con gran precisión y nos da como resultado un archivo TIFF de 16 bits en bruto, sobre el podremos realizar ajustes de exposición, contraste y saturación posteriormente. En realidad Zeronoise no es un revelador propiamente dicho, sino que internamente utiliza el revelador DCraw (programado por David Coffin), de libre distribución y gran control manual.

8.1.3.2 HDR y Exposure-fusion

El HDR es una técnica que muchas veces se asocia a un uso artístico de la fotografía caracterizado por efectos muy llamativos con altas saturaciones y un alto nivel de artificialidad; pero no siempre es así. Las posibilidades que ofrece esta técnica son muy variadas y también es ampliamente utilizada con el propósito de obtener fotografías naturales y realísticas como en nuestro caso. Su uso es muy apropiado cuando existe una gran diferencia entre luces y sombras en la

escena, como sucede por ejemplo en el Templo Mayor, donde el interior está muy oscuro y el exterior altamente iluminado.

Fusión de tomas con HDR

(archivo intermedio de 32 bits)

Existe cierta controversia a la hora de definir el HDR. Internacionalmente, las siglas HDR hacen referencia a la fusión de la exposición en que se genera un archivo de 32 bits en bruto que contiene un rango dinámico mucho mayor que el de las fotografías capturadas por la cámara. Este archivo tiene extensión .HDR y no es visualizable en el monitor del ordenador debido a su número de bits. Para ello es necesario su compresión mediante un “mapeado de tonos”, que generará un LDR (Low Dynamic Range) como resultado final. Para realizar este proceso se utilizan softwares como Photomatix o Dynamic Photo HDR, pero los algoritmos que se utilizan no suelen dar resultados muy naturales.

Fusión de tomas sin HDR: Exposure-fusion

(sin archivo intermedio de 32 bits)

Por otra parte, existen otros métodos como los que utiliza el programa Zeronoise o Tufuse que estrictamente hablando también pueden considerarse HDR, ya que emplean archivos TIFF de 16 bits con un rango dinámico muy superior al que la cámara es capaz de capturar. Sin embargo, en estos casos suele hablarse de “exposure fusion”, para diferenciarlo del clásico HDR de 32 bits. Los algoritmos que emplean estos softwares producen resultados mucho más naturales y realísticos, por lo que nos parecieron mucho más apropiados para nuestro proyecto.

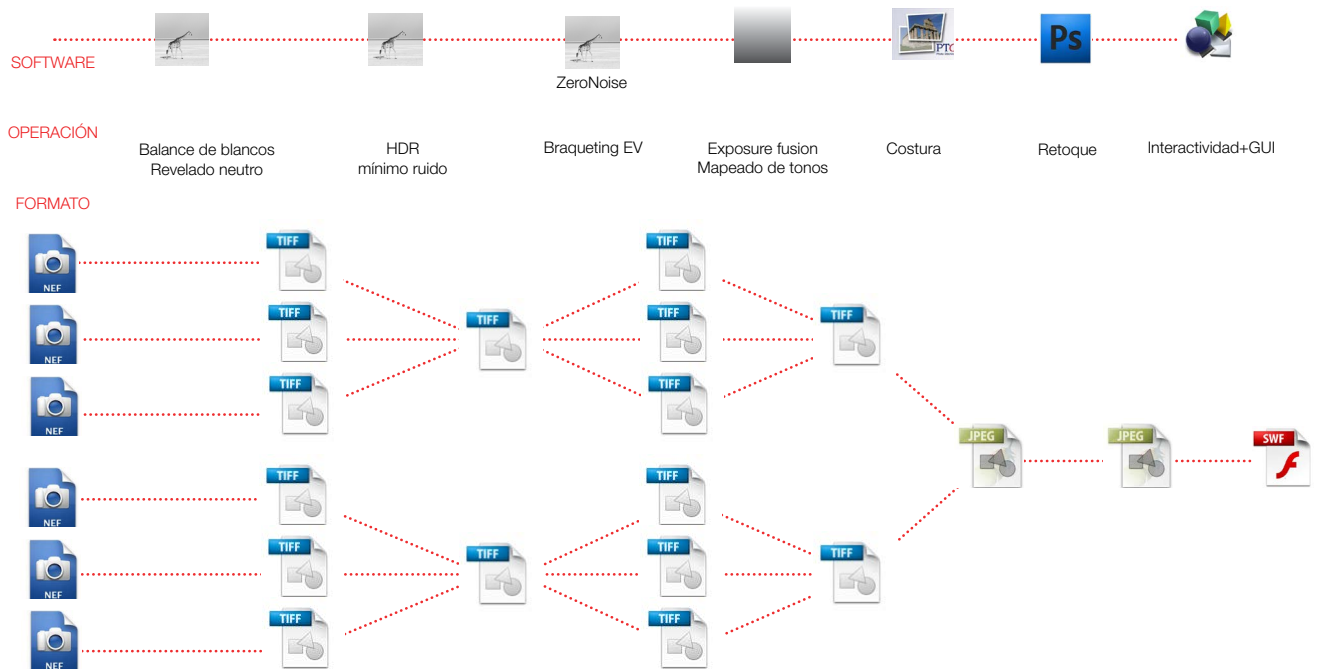


Figura 21 Diagrama del flujo de trabajo basado en el método de Guillermo Lujik Fuente: Elaboración propia

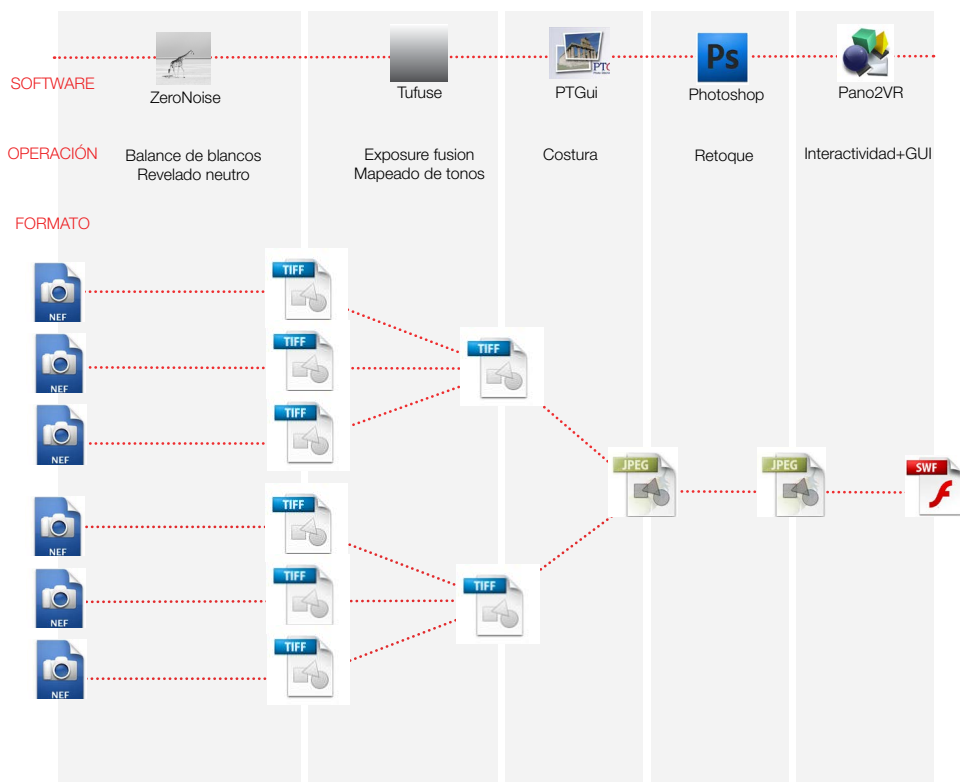


Figura 22 Diagrama del flujo de trabajo utilizado en el proyecto. Fuente: Elaboración propia

El programa Zeronoise tiene la función de automatizar la tarea de fusionar los archivos RAW procedentes de varias tomas realizadas sobre una misma escena con diferentes grados de exposición, para lograr una imagen de bajo ruido y alto rango dinámico (HDR). En nuestro caso, el ruido no nos suponía un gran problema por lo que finalmente tan solo utilizamos el Zeronoise de manera parcial. Para la fusión de la exposición nos decantamos por el programa TUFUSE, por el hecho de aunar la fusión de la información y mapeo de tonos con resultados muy aceptables y naturales. Zeronoise, en cambio, a pesar de optimizar la reducción del ruido y la nitidez, no realiza la etapa

de mapeado de tonos (la imagen generada contiene los parámetros de brillo, contraste y tonos idénticos a la original sin procesar), con lo que era necesario realizar el mapeado con otro software complicando en exceso el flujo de trabajo.

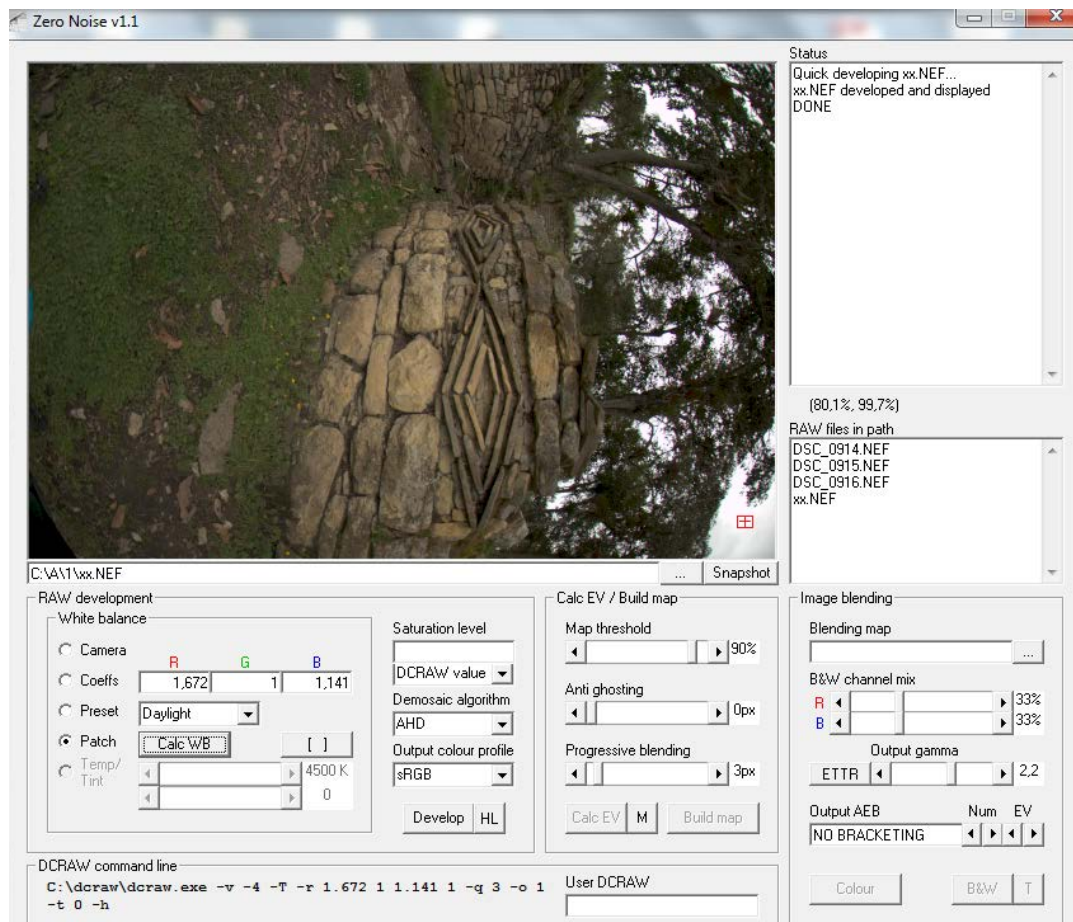


Figura 23 Captura de pantalla del programa Zeronoise.

8.1.3.3 Costura Fotográfica (Stitching)

Con los archivos revelados con Zeronoise y fundidos con Tufuse, obtuvimos 8 TIFFs por panorama con los cuales pasamos a la costura fotográfica con PTGui para la obtención del panorama equirectangular.

Como ya hemos comentado, la proyección equirectangular (también conocida como proyección cilíndrica equidistante o proyección latitud-longitud) es un tipo de proyección de una superficie esférica en una imagen plana, muy utilizada en los mapamundis para representar la tierra. Se basa en traducción directa de longitud y latitud como coordenadas cartesianas. Se ha convertido en un estándar en aplicaciones informáticas para procesar mapas globales, por su correspondencia entre píxeles y su posición geográfica. Cabe decir que el resultado

de esta proyección son imágenes distorsionadas no conformes (con distorsión en las formas y los ángulos) y no equivalentes (con distorsión las áreas relativas). Esta distorsión

es nula en el ecuador y máxima en los polos (zenit y nadir), como se observa en la figura 24.

El programa elegido para realizar la costura fotográfica fue PTGui. Este programa también permite trabajar con HDR y Exposure-Fusion, y acepta los archivos RAW de Nikon (con extensión .NEF) como imágenes de entrada, pero preferimos realizar estas operaciones con otros softwares que nos permitieran tener más control sobre el proceso.

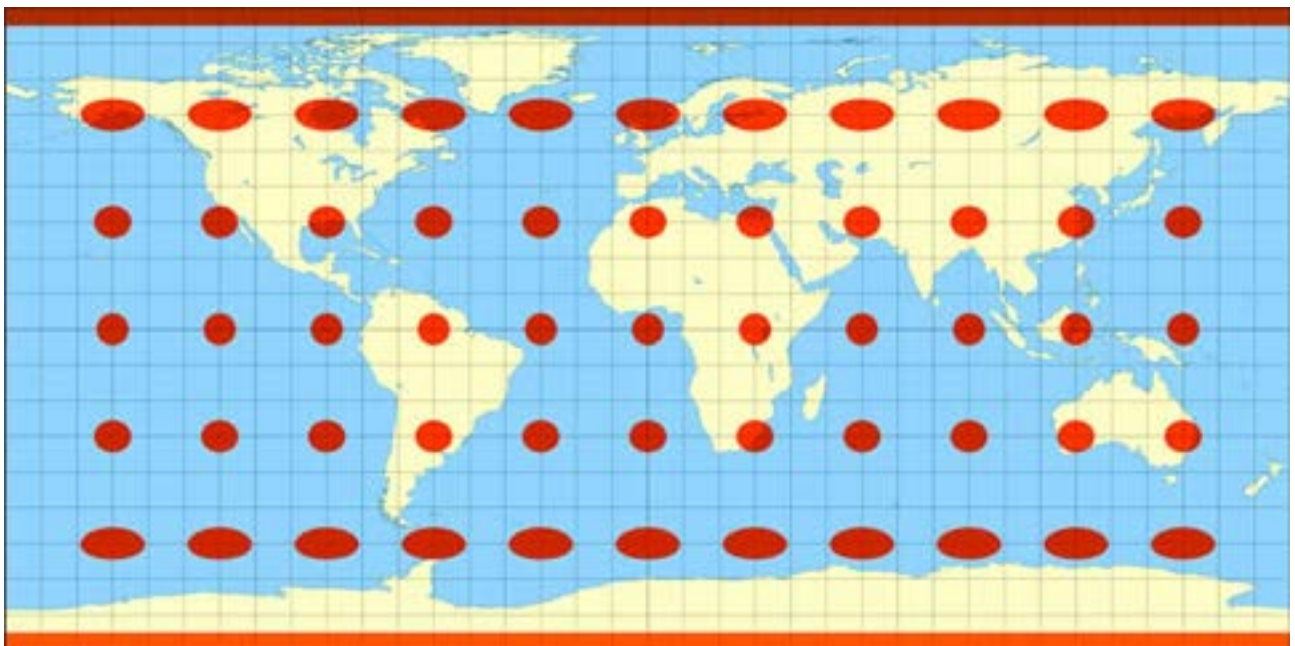
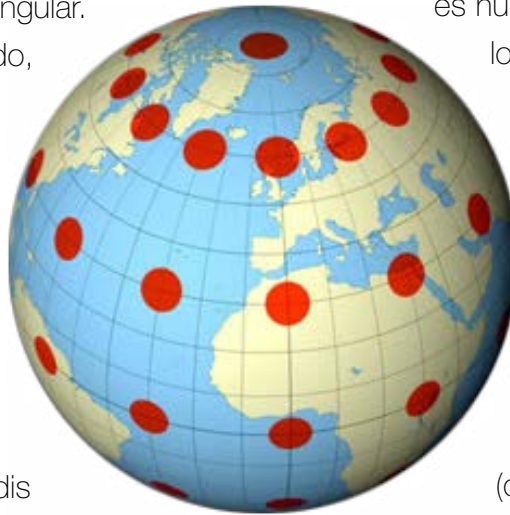


Figura 24 Proyección equirectangular plana de la superficie "esférica" terrestre, con indicadores de la deformación relativa

8.1.3.4 Retoque Fotográfico

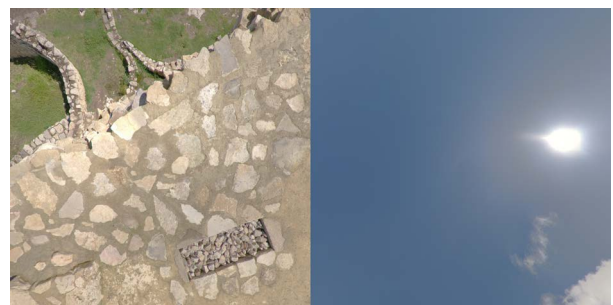
Cómo último paso para la obtención del panorama equirectangular definitivo, realizamos algunos retoques y ajustes en Photoshop. El principal de ellos fué la corrección del Nadir. Después de la costura equirectangular, siempre aparece el trípode y su sombra en la parte inferior, y una pequeña zona en blanco que no ha sido fotografiada por la cámara. Esta parte se muestra completamente distorsionada porqué, como ya hemos comentado anteriormente, la distorsión es máxima en los extremos inferior y superior, con lo que la edición se hace muy difícil. Por este motivo son de gran utilidad los plugins de Photoshop “Super cubic filters”, que permiten la transformación del zenit y el nadir en imágenes planas sin distorsión muy fácilmente editables, que después de ser modificadas, vuelven a incorporarse al panorama equirectangular. La edición consiste en reconstruir el suelo eliminando el trípode y sus sombras, haciendo uso de las herramientas de corrección puntual como “tampón de clonar”, “pincel corrector” y “parche”. Una vez corregido el suelo, aplicamos el filtro “super cubic reverse” para volver al panorama equirectangular. En algunos casos en que la calibración de la cámara no ha sido perfecta, pueden aparecer pequeños fallos de costura debido al efecto parallax, que requieren de ser corregidos puntualmente. Por último, tan solo queda realizar algunos ajustes de carácter general, como definir el contraste global y la saturación, con lo que obtenemos el panorama equirectangular definitivo.



1. Panorama equirectangular original



2. Proyección del Nadir y el Zenit tras aplicar el plugin “super cubic filter” en Photoshop



3. Resultado de la edición fotográfica local en Photoshop mediante las herramientas “tampón de clonar” y “parche”



4. Panorama equirectangular resultante con el Nadir corregido, tras aplicar el plugin “super cubic reverse”

Figura 25. Edición fotográfica con Photoshop y “Super cubic filters” para eliminar los defectos del Nadir. Fuente: elaboración propia



Figura 26: Panorama equirectangular del Hotspot 14: Exterior Acceso 1
Fuente: elaboración propia



Figura 27: Panorama equirectangular del Hotspot 12: Arriba Acceso 1
Fuente: elaboración propia



Figura 28: Panorama equirectangular del Hotspot 15: Interior Acceso 1
Fuente: elaboración propia



Figura 29: Panorama equirectangular del Hotspot 18: Templo Mayor Sur
Fuente: elaboración propia



Figura 30: Panorama equirectangular del Hotspot 16: Templo Mayor Norte
Fuente: elaboración propia



Figura 31: Panorama equirectangular del Hotspot 17: Interior Templo Mayor
Fuente: elaboración propia



Figura 32: Panorama equirectangular del Hotspot 8: Estructura
Fuente: elaboración propia



Figura 33: Panorama equirectangular del Hotspot 9: Sector Central del Pueblo Bajo
Fuente: elaboración propia



Figura 34: Panorama equirectangular del Hotspot 13: Colapso
Fuente: elaboración propia

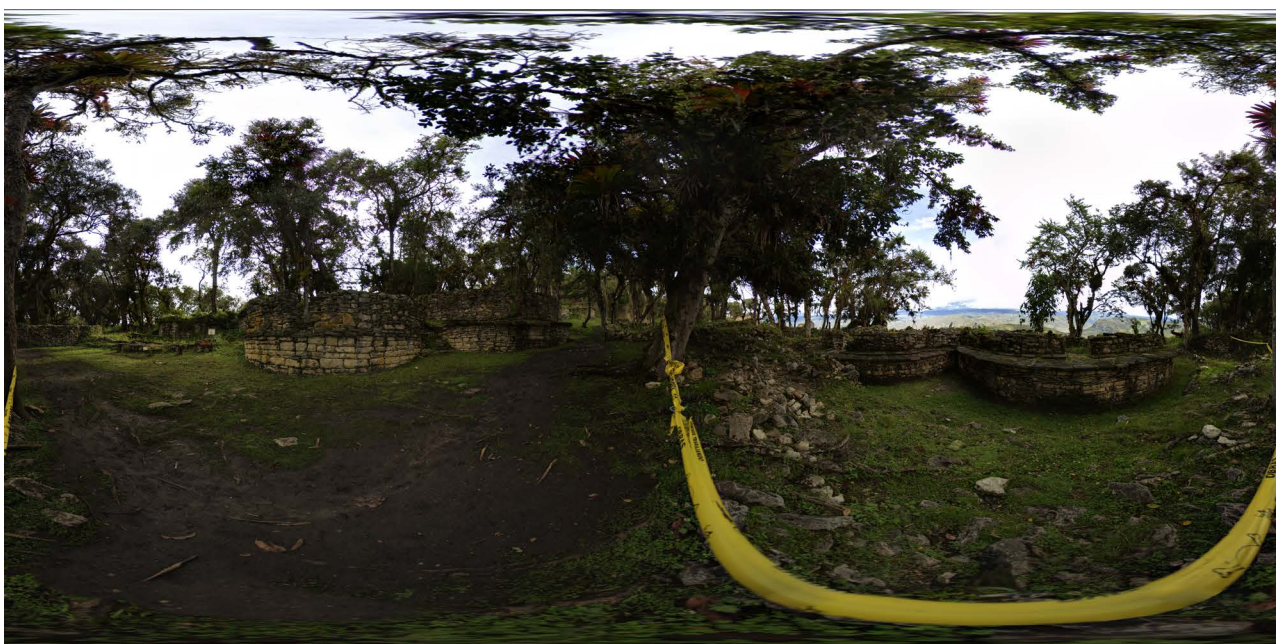


Figura 35: Panorama equirectangular del Hotspot 11: Frisos
Fuente: elaboración propia



Figura 36: Panorama equirectangular del Hotspot 1: El Torreón
Fuente: elaboración propia



Figura 37: Panorama equirectangular del Hotspot 10: Interior vivienda
Fuente: elaboración propia



Figura 38: Panorama equirectangular del Hotspot 2: Callanca
Fuente: elaboración propia



Figura 39: Panorama equirectangular del Hotspot 4: Acceso 3
Fuente: elaboración propia



Figura 40: Panorama equirectangular del Hotspot 3: Estructura Funeraria
Fuente: elaboración propia



Figura 41: Panorama equirectangular del Hotspot 5: Exterior tumba inca
Fuente: elaboración propia



Fig. 42: Panorama equirectangular del H6: Interior tumba con autoridades locales y responsables de la excavación
Fuente: elaboración propia



Figura 43: Fotografía del interior de la tumba (objetivo Nikkor 10.5mm fisheye)
Fuente: elaboración propia

8.1.3.5 Interactividad

Los panoramas equirectangulares son imágenes estáticas que contienen todo el entorno esférico alrededor de un punto concreto del espacio. Desde el punto de vista fotográfico pueden resultar interesantes por sí mismas, pero en lo referente a este proyecto, lo que realmente nos interesa es su interactividad y implementación web para lograr una visita virtual interactiva. Esto lo conseguimos mediante el programa Pano2VR; los panoramas equirectangulares (con formato TIFF o JPG) son utilizados como “datos de entrada”, para conseguir archivos Flash o Quicktime interactivos como “datos de salida”. Una visita virtual consiste en una aplicación navegable por distintos panoramas, con un entorno gráfico que permite al usuario interactuar con la aplicación. Para la navegación de un panorama a otro, optamos por dos métodos complementarios; la navegación por “hotspots” o puntos interactivos del panorama, y la navegación mediante “mapa de ubicación”. De esta manera, el usuario tiene siempre a su alcance un mapa general que le permite saber exactamente dónde se encuentra en cada momento, y le permite desplazarse a cualquiera de los puntos interactivos de la aplicación.



Figura 44: Primera versión del panel de botones en sus diferentes estados (default-state, over-state, selected-state)
Fuente: elaboración propia

8.1.3.6 Graphical User Interface (Gui)

Convertir un panorama equirectangular en un flash interactivo es una tarea relativamente sencilla, pero relacionar todos estos panoramas interactivos en una visita virtual con un entorno gráfico adecuado puede llegar a ser realmente complejo. El programa Pano2VR cuenta con un “skin editor”, o editor de GUI, con el que se pueden crear todo un entorno gráfico para controlar la aplicación. Los principales componentes de este entorno son el “panel de botones” y el “mapa interactivo”. La calidad del GUI dependerá en gran medida de la usabilidad de la aplicación y del diseño de sus componentes. Las principales funciones que consideramos para el panel de botones fueron las siguientes:

- Girar izquierda
- Girar derecha
- Girar arriba
- Girar abajo
- Zoom in
- Zoom out
- Start/stop auto-rotación
- Pantalla completa
- Instrucciones
- Copyleft



Figura 45: Versión definitiva del panel de botones.
Fuente: elaboración propia a partir de controles del Google Earth

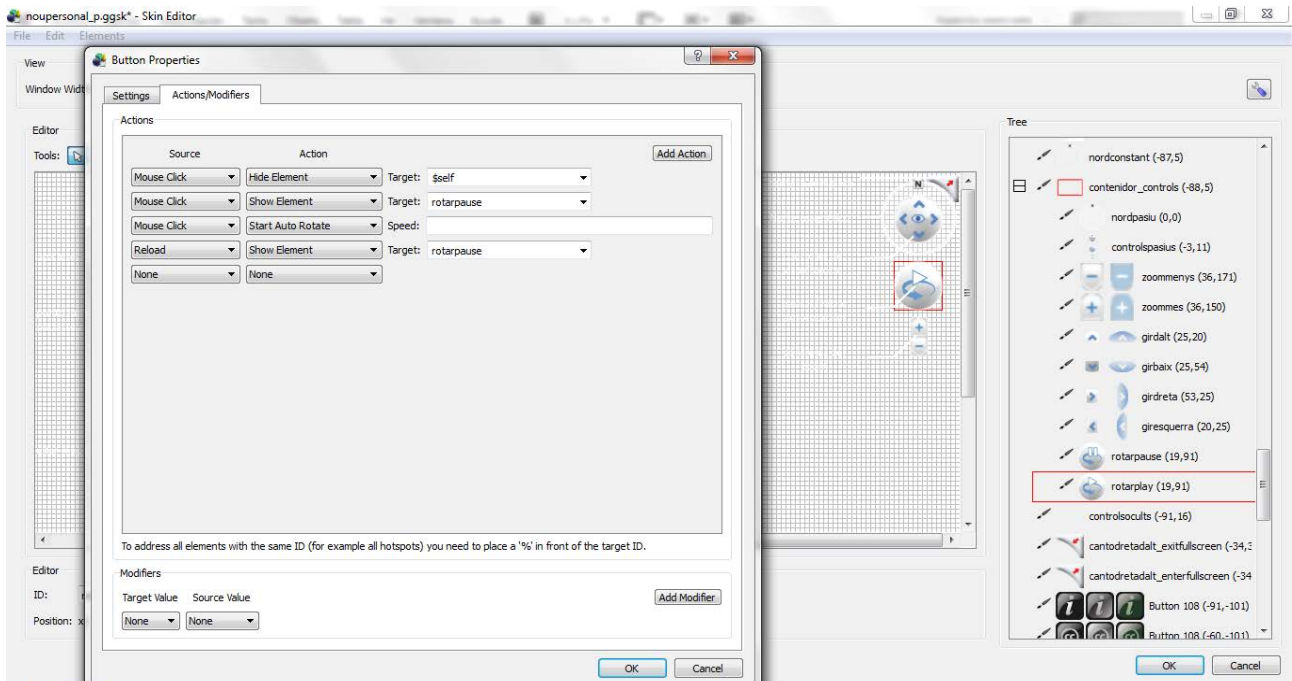


Figura 46: Captura de pantalla del *skin editor -Pano2VR*, donde se aprecia la configuración de las acciones del panel de botones
Fuente: elaboración propia

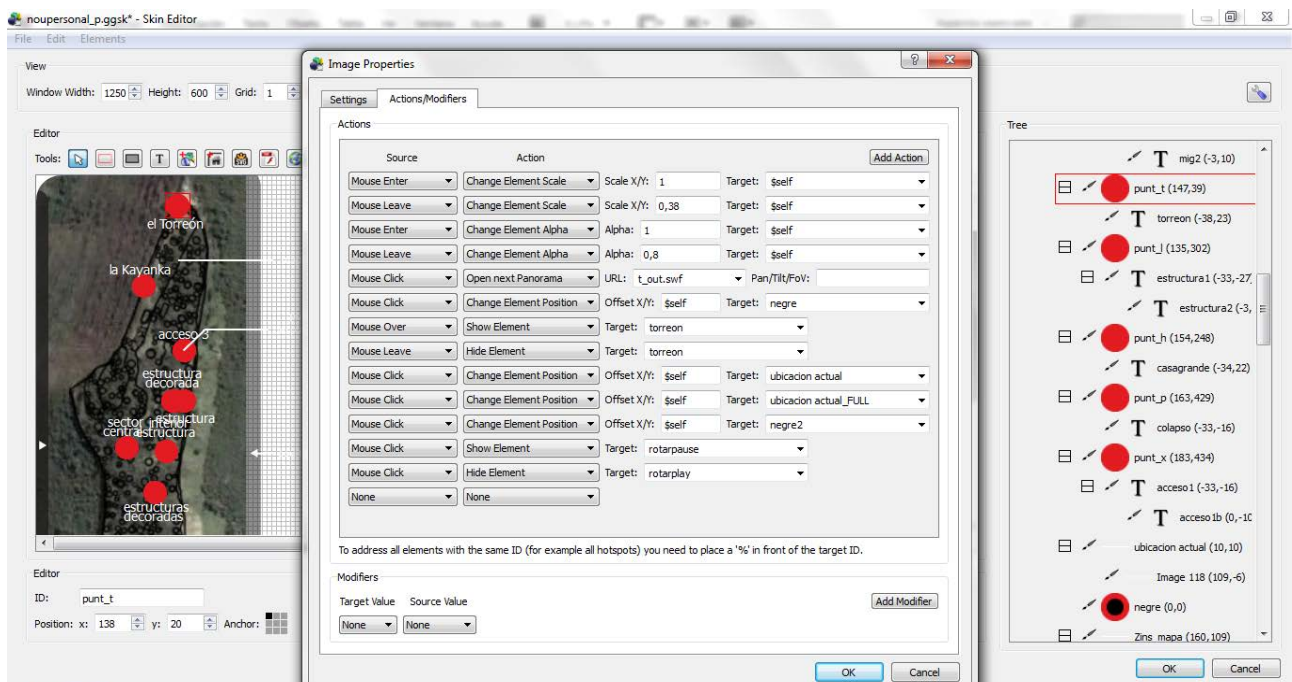


Figura 47: Captura de pantalla del *skin editor -Pano2VR*, donde se aprecia la configuración de las acciones del mapa interactivo
Fuente: elaboración propia

En el desarrollo de la GUI fueron de gran ayuda los tutoriales y videotutoriales sobre el uso del programa Pano2VR y su skin editor, disponibles en la web de la compañía (www.gardengnome.com), gracias a los cuales fue posible sacarle el máximo partido a este programa.

Cabe decir que el diseño del GUI sufrió muchas variaciones hasta llegar al resultado final. En realidad, el entorno gráfico de la visita virtual no puede entenderse de manera independiente al diseño global del portal web, por lo que el proceso de diseño flash no fue lineal; el entorno gráfico de la visita virtual se fue re-diseñando a medida que avanzaba el diseño global del portal web, combinando los lenguajes flash, html y javascript.

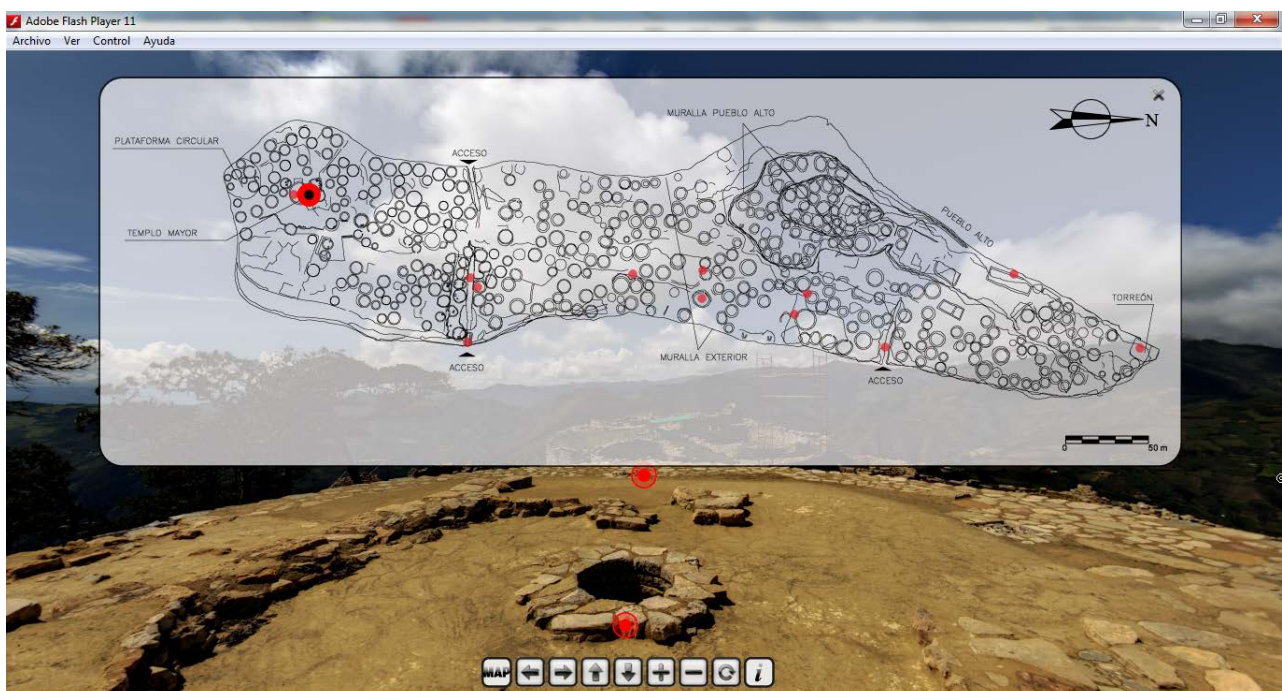


Figura 48: 1a versión de la *Graphical User Interface* con mapa interactivo flotante. Fuente: elaboración propia

8.1.6 Textos arqueológicos

Con el fin de divulgar el resultado de las investigaciones realizadas en Kuelap con todo el rigor científico, se incorporaron a la visita virtual una serie de textos descriptivos de los principales estructuras arqueológicas de la Ciudadela, facilitados por el director arqueológico

de Kuelap, Alfredo Narvaez. Estos textos se dispusieron en el lateral izquierdo de la aplicación de modo que el usuario pudiese elegir entre mostrar el “mapa de ubicación” o el texto correspondiente a cada hotspot de la visita:

8.1.6.1 Texto general de Cuélap (H 14)

Kuelap -o Cuélap según los textos antiguos- está, ubicado a 3000 m. de altitud, en el distrito de Tingo (Provincia de Luya) de la Región Amazonas, y constituye el asentamiento de élite de mayor importancia de la civilización Chachapoya en los Andes nororientales del Perú. Su construcción debió iniciarse en los primeros siglos de la era cristiana y culminó su ocupación en 1570 aproximadamente. Sus colosales murallas y su compleja arquitectura interior son evidencias de su función como un conjunto poblacional bien organizado, que incluye recintos de índole administrativa, religiosa, espacios ceremoniales y de residencia permanente. El sitio se ubica en la cima de Cerro Barreta que es parte de una geografía sagrada que incluye a la Laguna Cuychaculla que se constituye en la huaca principal de los Chachapoyas, como lo señalan los testimonios etnohistóricos.

8.1.6.2 Petroglifos Acceso 1 (H15)

La entrada principal atestigua su uso para personajes de alto estatus, no solamente por su forma y detalles arquitectónicos, sino además, por la ubicación de numerosos bloques de piedra en su construcción que fueron ornamentados con diversos símbolos de tipo religioso que incluyen rostros y animales míticos, serpientes y símbolos de profundo contenido religioso. En este acceso se han mantenido los testimonios del proceso de crecimiento del sitio, incluyendo grandes capas de relleno que permitieron de manera sucesiva la extensión del acceso, tanto en altura como su crecimiento hacia el interior.

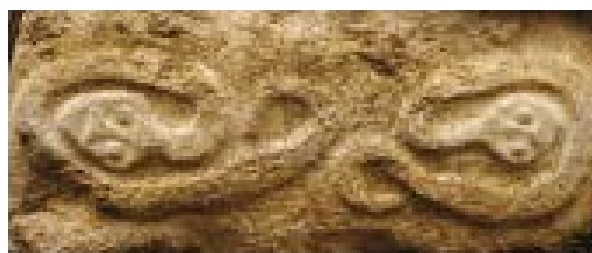
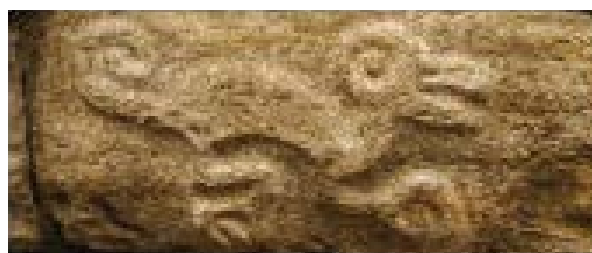


Figura 49: Petroglifos del Acceso 1 de Kuelap
Fuente: elaboración propia

8.1.6.3 Templo Mayor (H16, 17,18)

El Templo Mayor es uno de los centros sagrados de mayor importancia para el monumento. Este edificio que presenta la forma de un cono truncado invertido, tiene 13.5 m. de diámetro en su parte superior, en la cual se han registrado numerosas evidencias de ofrendas diversas en rituales complejos que incluyó el colocar huesos humanos dentro del recipiente interior, convirtiéndose así en un gran osario. En torno al edificio se han encontrado entierros humanos y ofrendas que proceden de la costa norte, de la sierra de Ayacucho en el sur y hasta de Cajamarca en la sierra norte.

8.1.6.4 Plataforma circular (H19)

La Plataforma Circular, ubicada inmediatamente sobre la muralla sur, tuvo una función íntimamente vinculada con el Templo Mayor. En esta plataforma debió residir el personaje que tuvo bajo su responsabilidad el funcionamiento del templo. El final de la historia ocupacional de Cuélap se relaciona con una masacre de grandes proporciones que ocurrió de manera exclusiva dentro de los límites de esta plataforma, que no incluyó mujeres, y que fue realizada por un grupo local bien organizado, en el marco de un conflicto de poder. Este hecho fue seguido de un gran incendio que marca los días finales de ocupación del sitio. Este triste acontecimiento debió ocurrir alrededor de 1570 cuando se establece el sistema de reducciones de indios por el poder colonial español. En el centro de esta plataforma hubo un osario semejante al que se registró en la parte superior y central del Templo Mayor.

8.1.6.5 Pueblo Alto (H3)

El Pueblo Alto se ubica en la parte norte y oeste del sitio y tiene una muralla que lo delimita y separa del resto del asentamiento. Tiene tres sectores bien definidos, a los cuales se accede por dos accesos, uno que permite ingresar al sector norte y central y el otro que permite el acceso solamente al sector sur, de carácter básicamente residencial.

8.1.6.6 La Tumba Inca del P. A. Sur (H 5, 6)

Dentro de una estructura especial se descubrió una tumba Inca, de un personaje adolescente, con ofrendas de alta calidad, que incluye fina cerámica, objetos de madera muy destruidos y una nariguera de metal. Es posible que se trata de una ofrenda del tipo Capacocha, costumbre Inca en los centros de mayor importancia religiosa del imperio.

8.1.6.7 Sector Central del Pueblo Alto (H3)

Este sector debió cumplir una función pública durante los últimos momentos de ocupación. Por esta razón, solamente cuenta con tres estructuras de formas cuadradas y rectangulares, de época Inca, que se superponen a estructuras circulares más antiguas. En el extremo sur de este sector, se ubica una estructura cuadrangular muy destruida, que contenía numerosos entierros humanos primarios y secundarios. Este edificio debió tener un techo a dos o cuatro aguas. Debajo de este hay evidencias de edificios más antiguos.

8.1.6.8 Callanca (H2)

Este es un edificio de época Inca. Es el más grande del sitio, es de forma rectangular y ha sido propuesta su función como Callanca, un edificio que servía durante la época Inca, para propósitos ceremoniales bajo techo, pero también como hospedaje para viajeros o invitados.

8.1.6.9 El Torreón (H1)

Edificio sólido de tipo ceremonial ubicado en el extremo norte del sitio, forma parte del sector norte del Pueblo Alto y colinda con un abismo inaccesible hacia el lado oeste. En la parte superior se encontraron centenares de piedras de naturaleza caliza que fueron redondeadas para ser utilizadas como proyectiles para honda, los que debieron ser utilizados para propósitos ceremoniales, ya que para propósitos defensivos no cumplía un papel significativo. Sin embargo, en el caso de que se utilizaran hondas, el espacio superior solo debió permitir la *performance* de muy pocas personas, tal vez una sola que las arrojaba hacia el oeste, ya que hacia el este, los techos de las casas vecinas impedían la visibilidad.

8.1.7 Audio

Por petición del Gobierno Regional Amazonas, se incorporó a la web una pista de audio. Para ello se eligió un grupo de música andina tradicional del vecino pueblo de Lamud: Los Chillaos. Esta elección se realizó en consonancia con el objetivo de promocionar el desarrollo territorial de la zona con la difusión de los atractivos culturales de las poblaciones locales, considerando la música como un importante bien patrimonial. A la pista de audio se le incorporó el sonido del “pututo” o cuerno acústico, que era una herramienta que utilizaban los Chachapoya para comunicarse en la distancia, cuyo sonido conocemos perfectamente gracias a la etno-arqueología. También se insertó el sonido de aves propias de la zona para crear una atmósfera singular, recreando el sonido ambiente de Kuelap. Para controlar el audio, en la parte superior de la web se insertaron unos controles con los que el usuario pudiera regular el volumen, silenciar, y parar/reproducir el audio.

Hay que agradecer enormemente al grupo “Chillaos” que cediera su música de manera desinteresada para el portal web.



Figura 50: Controles de audio
Fuente: elaboración propia

8.2 FASE 2: Diseño y difusión del portal web

8.2.1 Api Del Google Earth

Google Earth es un programa que permite realizar visitas virtuales a partir de información geográfica, presentando un globo virtual terráqueo con diferentes niveles y contenidos de mapas geográficos navegables gracias a una Interfaz con Zoom (Zoomable User Interface). Presenta la Tierra con una superposición de imágenes obtenidas a partir de fotografías satelitales, aéreas y SIG. 3D del mundo. Además, con Google Earth se puede visualizar el relieve de la superficie de la tierra en 3D, gracias a los modelos digitales del terreno (MDT), recogidos por el Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) de la NASA. También tiene la capacidad de mostrar modelos 3D de edificios y estructuras realizados por los usuarios con el programa de modelaje 3D SketchUp.

El plugin de Google Earth y su API de JavaScript permiten integrar esta herramienta en aplicaciones y webs propias. Esto es de gran utilidad para ubicar geográficamente un determinado lugar y poder realizar una exploración orográfica del relieve. Mediante el uso del API se pueden dibujar líneas, polígonos, insertar marcadores o imágenes sobre la superficie del terreno, añadir modelos 3D, realizar recorridos o cargar archivos KML, lo que permite crear sofisticadas aplicaciones.

Desde el momento en que descubrimos la potencialidad de esta API, tratamos de explotar su aplicabilidad en nuestro proyecto. En un primer momento, se pensó en utilizar esta aplicación como “mapa de ubicación” de la visita virtual integrada en el GUI, de manera que estuviera visible en el lateral izquierdo de

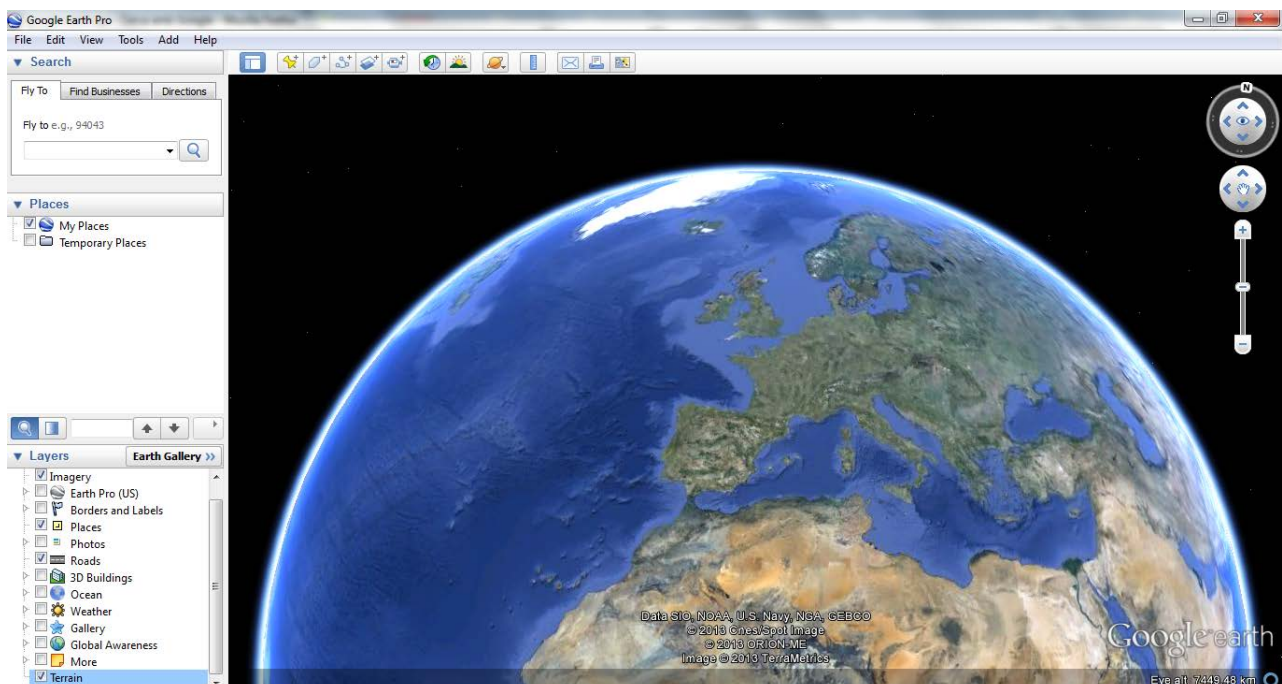


Figura 51: Captura de pantalla del programa Google Earth Pro
Fuente: elaboración propia

la pantalla con puntos interactivos y presentara sus propios botones de navegación. Para ello se solapó una imagen del plano de Kuélap al relieve del GE; de esta manera se podía observar con claridad las estructuras arqueológicas contextualizadas en su entorno topográfico. Se planificó también la inserción del un modelo 3D de Kuélap en el estado actual y otro en el estado ocupacional que fueran navegables por el usuario- aprovechando la última fase del proyecto que contemplaba el modelado 3D de la Ciudadela- para insertar este mismo modelo en la aplicación. No obstante, el modelo que se realizó en la última fase no resultó válido para estos fines, porque era un modelo conceptual que se diseñó orientado a su fabricación física y en relación con su escala (1:750), por lo que no estaba texturizado ni contaba con el detalle necesario para una navegación tipo videojuego (walkthrough). No obstante, esta propuesta llegó a materializarse en la segunda versión del diseño de GUI (figura 53).



Figura 52: Superposición del plano al relieve de Google Earth
Fuente: elaboración propia

Cabe decir que los conocimientos que se tenían de JavaScript antes de realizar el proyecto eran prácticamente nulos, por lo que fue de gran ayuda la guía para desarrolladores del API de Google Earth [23] y la Galería de Demos [24] donde encontramos buenos ejemplos del uso del API, algunos de los cuales adaptamos a nuestra aplicación.



Figura 53: 2a versión de la Graphical User Interface, donde el mapa interactivo flotante ha sido sustituido por la aplicación del API de Google Earth con sus propios botones. Vista del Templo Mayor con instrucciones visibles
Fuente: elaboración propia



Figura 54: 2a versión de la Graphical User Interface, donde el mapa interactivo flotante ha sido sustituido por la aplicación del API de Google Earth con sus propios botones. Vista del Templo Mayor con mapa interactivo visible Fuente: elaboración propia

Finalmente, por motivos de usabilidad del portal web, se optó por crear una sección independiente para la aplicación de Google Earth, accesible desde un menú desplegable (ver figura 56), y utilizar una imagen estática como “mapa de ubicación” de la visita panorámica. De esta manera la aplicación del GE no interfería en la visita virtual panorámica y quedaban diferenciados e independientes los lenguajes flash por una parte y javascript por la otra, evitando una aplicación híbrida interdependiente con los problemas que ello conllevaba. Esta solución permitía, además, poner más énfasis en la aplicación de Google Earth, ya que ahora disponía de un espacio propio más visible. Desde el menú desplegable se puede elegir el nivel de zoom deseado:

- Vista espacial (20.000 km s.n.d.m)
- Perú-amazonas (3000 km s.n.d.m)
- Kuélap de lejos (20 km s.n.d.m)
- Kuélap de Cerca (4 km s.n.d.m)

La aplicación se diseñó de manera que según el nivel de zoom que elige el usuario, se cargarán unas u otras capas. Así, si se hace click sobre el nivel de zoom “Perú-Amazonas”, la aplicación mostrará una capa que remarca con colores las zonas correspondientes a Perú y a Amazonas (ver figura 57). Al hacer click sobre “Kuélap de lejos”, la aplicación señala de forma destacada todos los asentamientos próximos a Kuélap con sus correspondientes nombres (ver figura 58) y si se hace click sobre “Kuélap de cerca”, se cargará la capa correspondiente al plano arqueológico de Kuélap superpuesto al relieve del terreno, y se ocultarán las demás capas (ver figura 59).

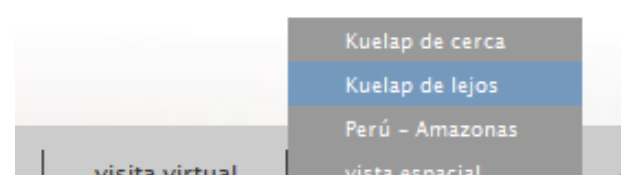


Figura 55: Menú desplegable con diferentes niveles de zoom Fuente: elaboración propia



Figura 56: Aplicación del Api de Google Earth definitiva implementada en el portal web. Nivel de zoom: (20.000 km s.n.d.m)
Fuente: elaboración propia

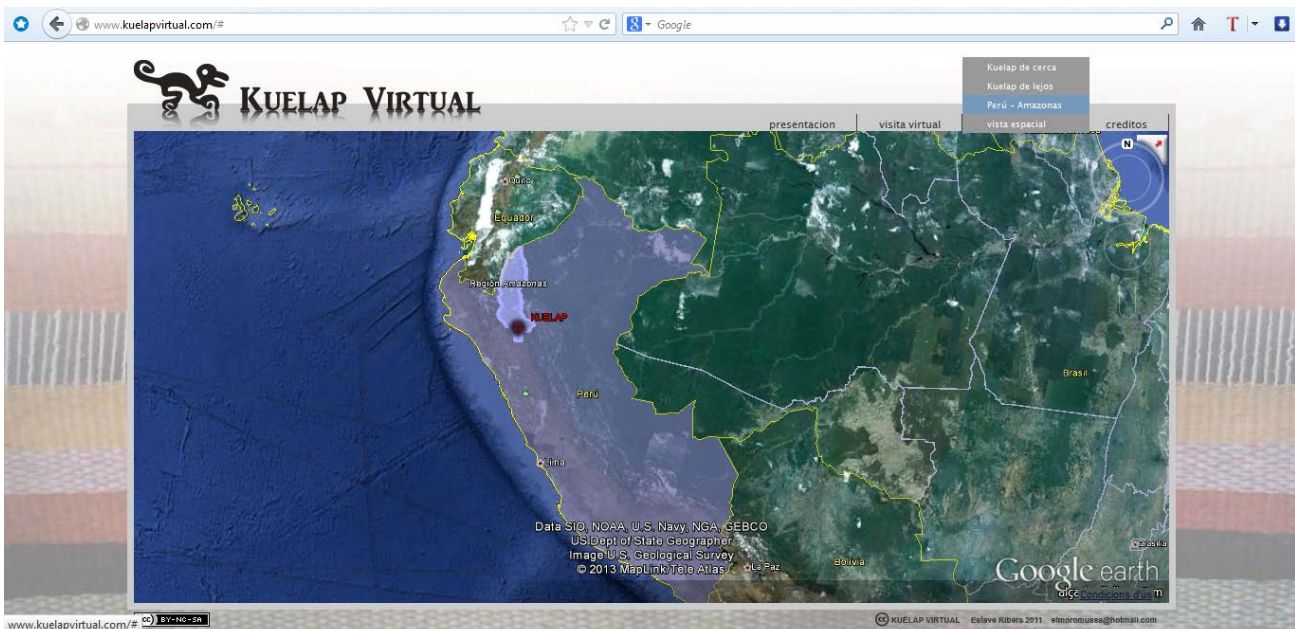


Figura 57: Aplicación del Api de Google Earth implementada en el portal web. Nivel de zoom: Perú-amazonas (3000 km s.n.d.m)
Fuente: elaboración propia

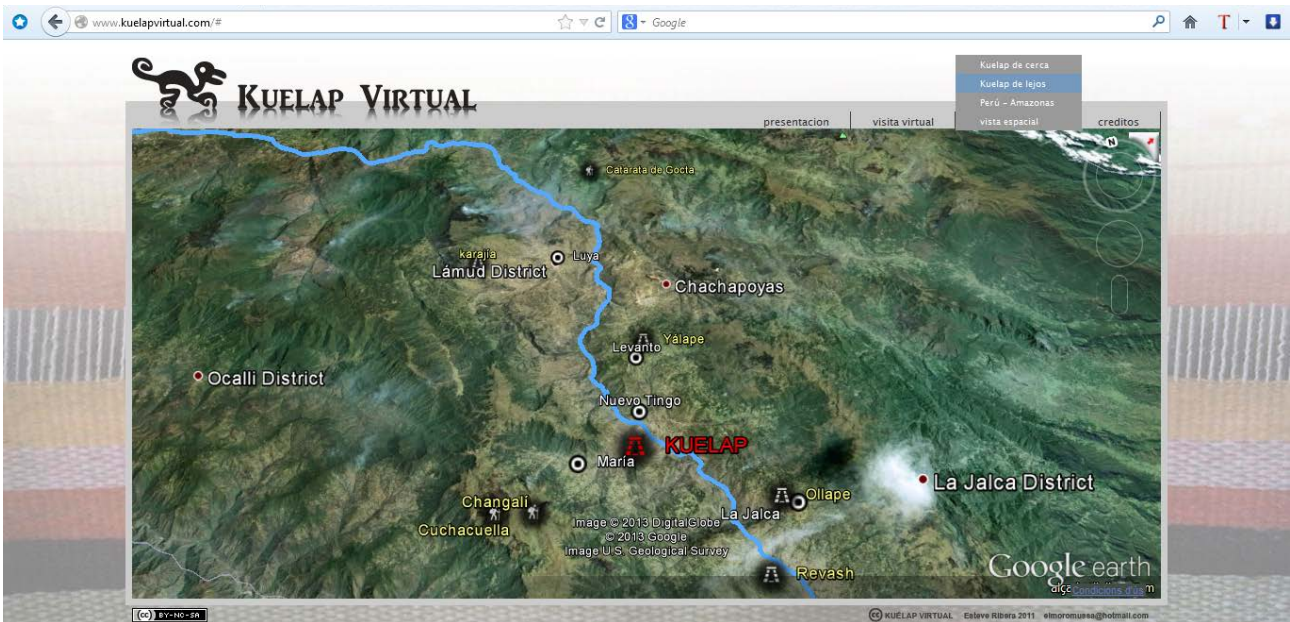


Figura 58: Aplicación del Api de Google Earth implementada en el portal web. Nivel de zoom: Kuélap de lejos (20 km s.n.d.m)
Fuente: elaboración propia

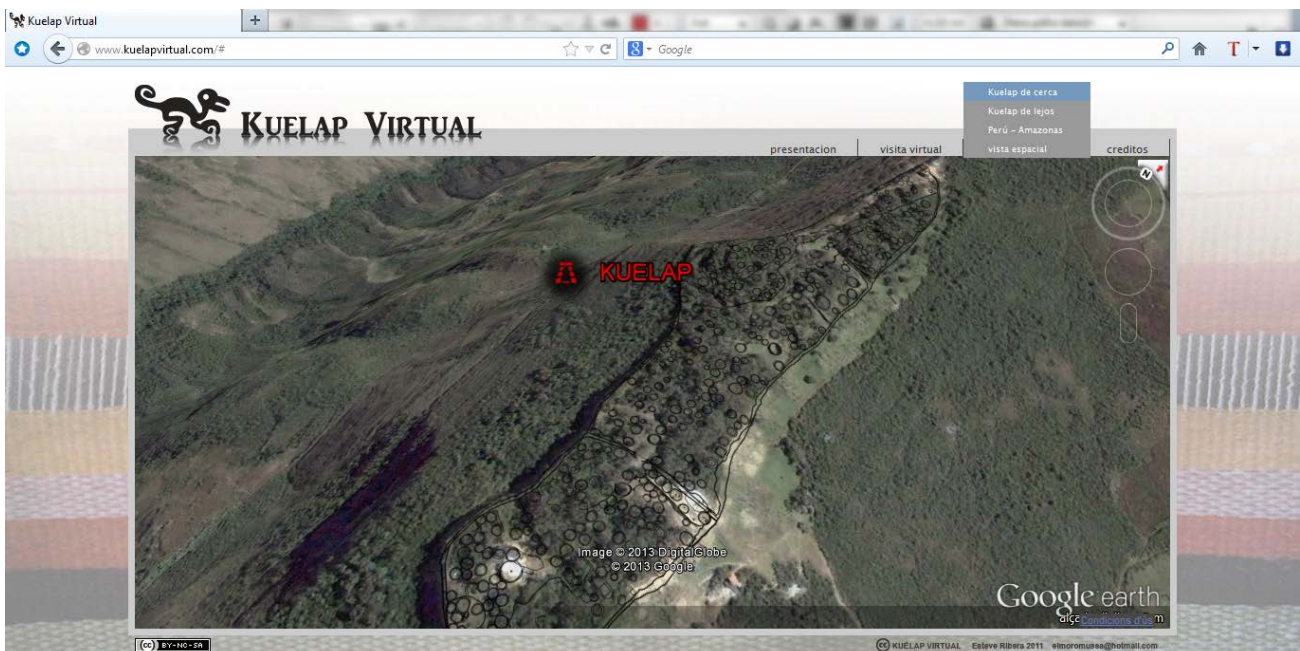


Figura 59: Aplicación del Api de Google Earth implementada en el portal web. Nivel de zoom: Kuélap de Cerca (4 km s.n.d.m)
Fuente: elaboración propia

8.2.2 Desarrollo Web

El proyecto contemplaba como uno de sus productos finales el portal web www.kuelapvirtual.com; por este motivo era necesario integrar la visita virtual en un entorno web que mostrase a su vez otros contenidos complementarios. Desde un primer momento, se partió de la idea de crear un diseño muy simple e intuitivo que no restara espacio visual a la visita virtual. Podríamos extendernos mucho hablando del desarrollo del código html y javascript que utiliza la página, pero nos centraremos en la parte de diseño que es lo que nos atañe como PFC de Ingeniería del Diseño. Uno de los primeros aspectos a abordar fue el diseño del logotipo del portal web. El resultado final se muestra en la figura 60. El isotipo representa uno de los petroglifos más importantes y representativos de Kuélap, y va acompañado del texto “kuélap virtual” en mayúsculas.



Figura 60. Logotipo del portal web kuelapvirtual.com
Fuente: elaboración propia

El contenido principal de la web, es decir, la visita virtual con su GUI, se dispuso a modo de ventana flotante central, de forma que no fuera necesario el uso del scrollbar vertical ni horizontal. Se introdujo un menú css horizontal en la parte superior de esta ventana, alineado a la derecha de esta. En la figura 61 podemos apreciar la primera versión de la web donde aún no se había implementado el logotipo final. Esta versión se basó en el uso del rombo como motivo de diseño, por el hecho que la forma romboidal es una de las geometrías más utilizadas por los Chachapoyas en sus frisos en Kuélap y en otros yacimientos, y hoy día es un emblema de su cultura.

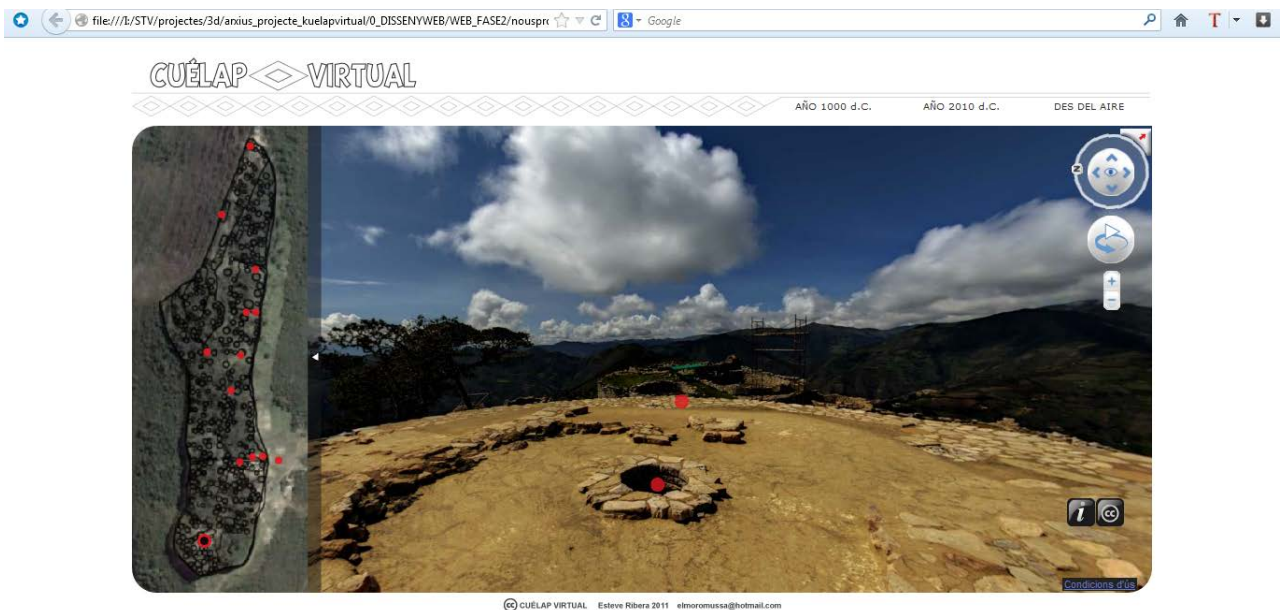


Figura 61: Primera versión del portal web con logotipo romboidal
Fuente: elaboración propia

8.2.3 Diseño Web Responsivo

Hoy en día, el acceso a internet no sólo se produce desde ordenadores de escritorio o portátiles, sino que hay una gran variedad de dispositivos que permiten la navegación web, como teléfonos móviles, pequeños notebooks o tablets como el Ipad, y es una tendencia a la alza. La resolución de pantalla varía entre los 320px (iPhone) a 2560px (monitor de gran tamaño). Esto ha tenido una gran repercusión en la manera en que se diseñan las webs, pasando de una concepción estática del diseño a una dinámica donde los contenidos son flexibles y se adaptan a cada tipo de pantalla y resolución. Esta nueva concepción es lo que se conoce como “diseño responsivo”,

que trata de romper con los esquemas del diseño impreso estático para dar respuesta a las nuevas exigencias del medio digital con su propio lenguaje.

En relación con nuestro proyecto, decidimos realizar el portal web mediante diseño responsivo para que este fuera visitable desde cualquier dispositivo, con lo que ampliamos enormemente la cantidad de usuarios del portal. Básicamente, conseguimos hacer la web flexible asignando valores de ancho y alto relativos, y alineando los elementos de manera que no se superpusiesen cuando el ancho de pantalla fuese mínimo.



Figura 62: Web con diseño flexible, vista en diferentes anchos de pantalla. Ejemplo diseñado por Ethan Marcotte para explicar el Responsive Web Design en su artículo de A List Apart [25] Fuente: <http://alistapart.com/article/responsive-web-design>



Figura 63: Portal Web www.kuelapvirtual.com, visto en diferentes anchos de pantalla. Fuente: elaboración propia



KUELAP VIRTUAL

Mapa | El Templo Mayor



mapa interactivo

punto interactivo:
desplazarse al panorama

ocultar mapa

ubicación actual



INST

para controlar la visualización, mantener
Presionar los puntos rojos (del mapa)

(CC) BY-NC-SA

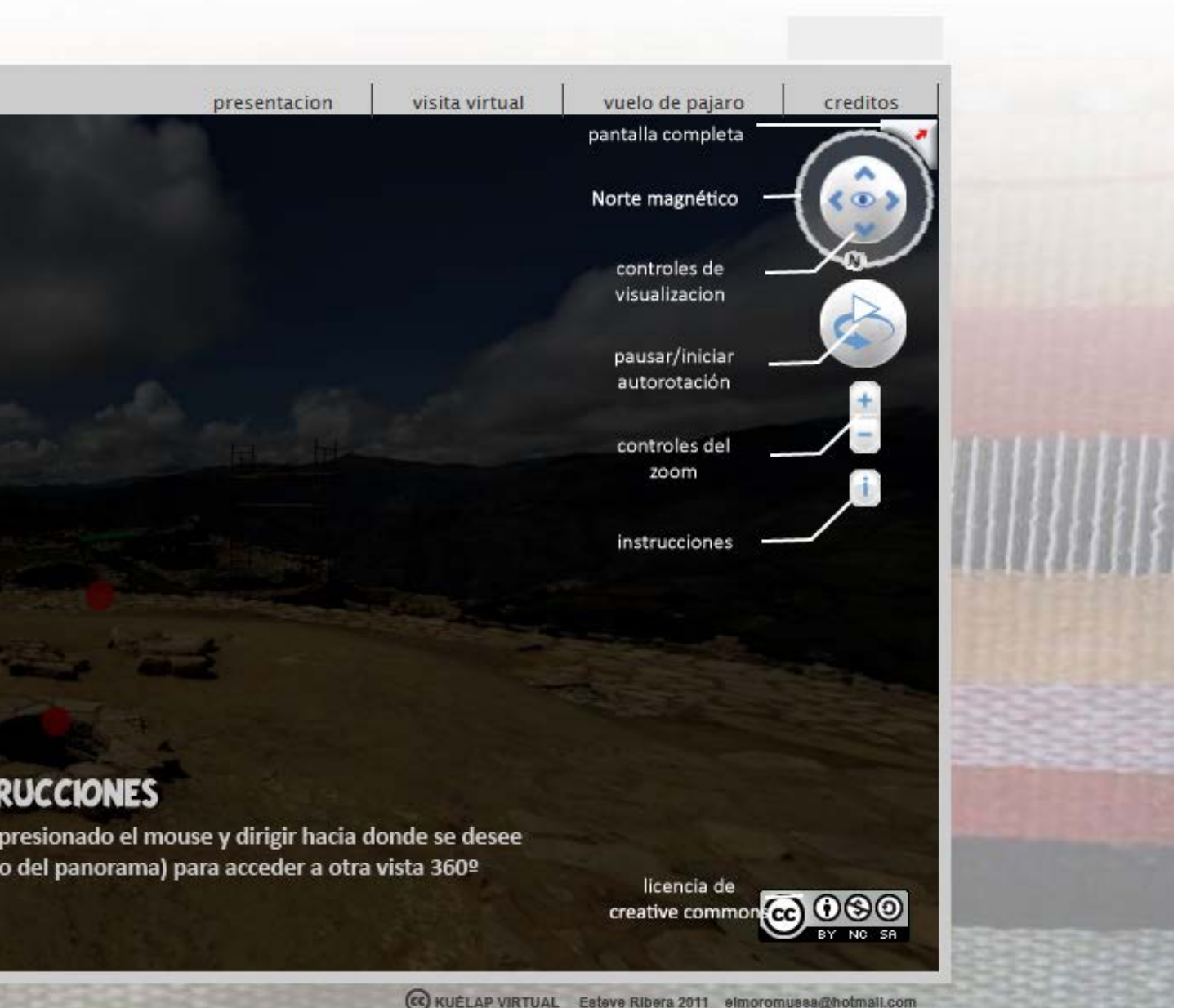


Figura 64: Versión definitiva del portal web www.kuelapvirtual.com [26]
Font: elaboración propia

8.3 FASE 3: MODELADO 3D

El proyecto contemplaba como uno de sus resultados finales la obtención de una maqueta arqueológica de Kuélap y de su entorno, fabricada mediante la impresión 3D de un modelo virtual del mismo. La viabilidad de esto quedó garantizada gracias a la colaboración del Departamento de Proyectos de Ingeniería de la UPV, quien puso a disposición del proyecto la máquina de prototipado rápido Zprinter-450.

El modelado 3D para el prototipado presentaba unas características muy diferentes al modelado 3D destinado al renderizado o a la animación. En el primer caso, todas las partes del modelo (las visibles y las no visibles) requieren un buen acabado ya que se materializarán en un objeto físico, mientras que en el segundo caso tan solo se cuida el detalle de aquellas partes que serán visibles en el renderizado, lo cual es muy adecuado para poder trabajar con los programas de modelado agilizando la gestión de los recursos gráficos del ordenador. Además, modelar para el pro-

totipado requiere de modelos con geometrías limpias, precisas y cerradas aptas para la máquina de prototipado rápido. Por otra parte, el rigor científico del proyecto requería de un modelo fidedigno al original, aunque la escala del producto final determinó el nivel de detalle del modelo final. En nuestro caso, optamos por diseñar la maqueta en dos partes diferenciadas; una que mostrase la Ciudadela de Kuélap a escala 1:750 (parte A) y otra que mostrase el entorno oreográfico a escala 1:17500 (parte B). En la parte A se aplicó la hipótesis arqueológica para mostrar cómo sería el sitio en su estado original hacia el siglo XI d.C.. Se decidió hacer esta parte monocromática, por el hecho de tratarse de un modelo conceptual, mientras que la parte B se realizó a todo color, mostrando una orto-foto satelital proyectada sobre el relieve, a lo que se añadió la información toponímica extraída de un mapa físico de la zona.

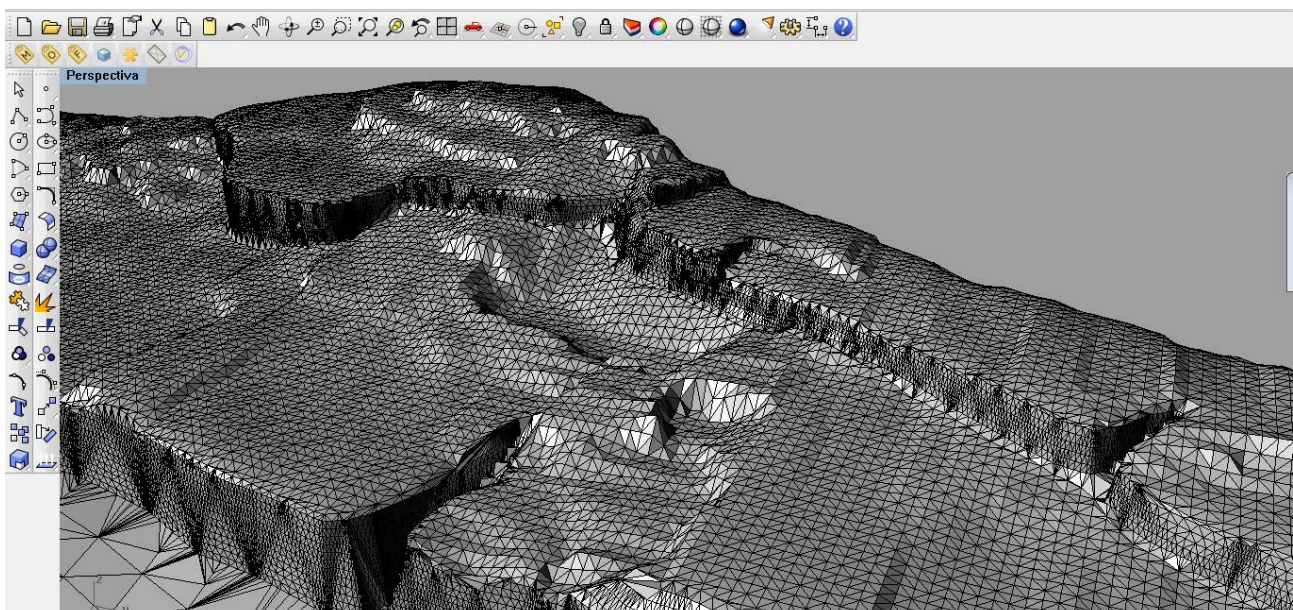


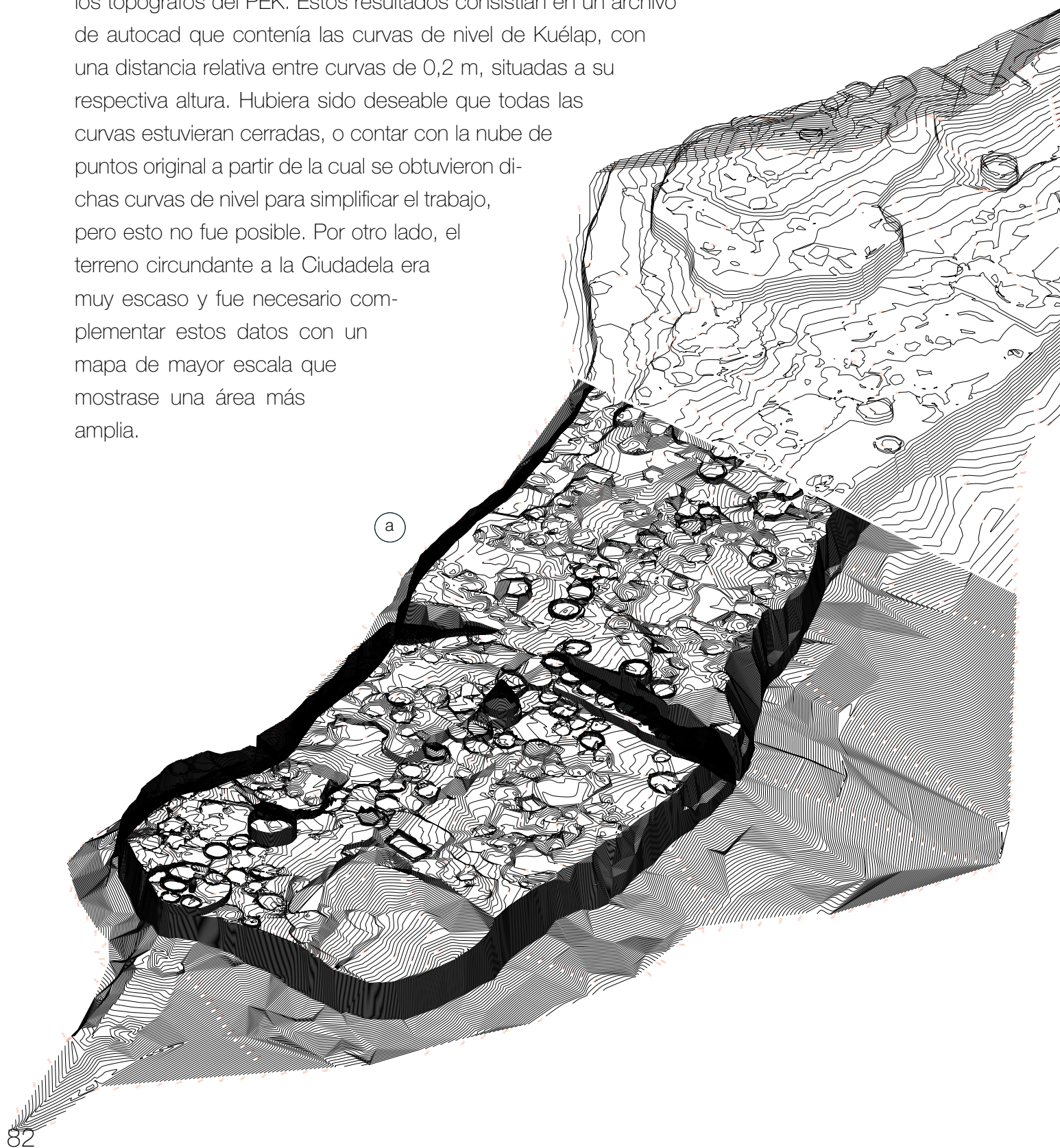
Figura 65: Captura de pantalla del programa Rhinoceros en el proceso de modelado de Kuélap. Malla triangular
Fuente: elaboración propia

8.3.1 Modelado de la “Parte A”

8.3.1.1 Levantamiento topográfico: curvas de nivel con alturas

Para el modelado de la parte A de la maqueta, se tomaron como datos de partida los resultados del levantamiento topográfico realizado por los topógrafos del PEK. Estos resultados consistían en un archivo de autocad que contenía las curvas de nivel de Kuélap, con una distancia relativa entre curvas de 0,2 m, situadas a su respectiva altura. Hubiera sido deseable que todas las curvas estuvieran cerradas, o contar con la nube de puntos original a partir de la cual se obtuvieron dichas curvas de nivel para simplificar el trabajo, pero esto no fue posible. Por otro lado, el terreno circundante a la Ciudadela era muy escaso y fue necesario complementar estos datos con un mapa de mayor escala que mostrase una área más amplia.

a



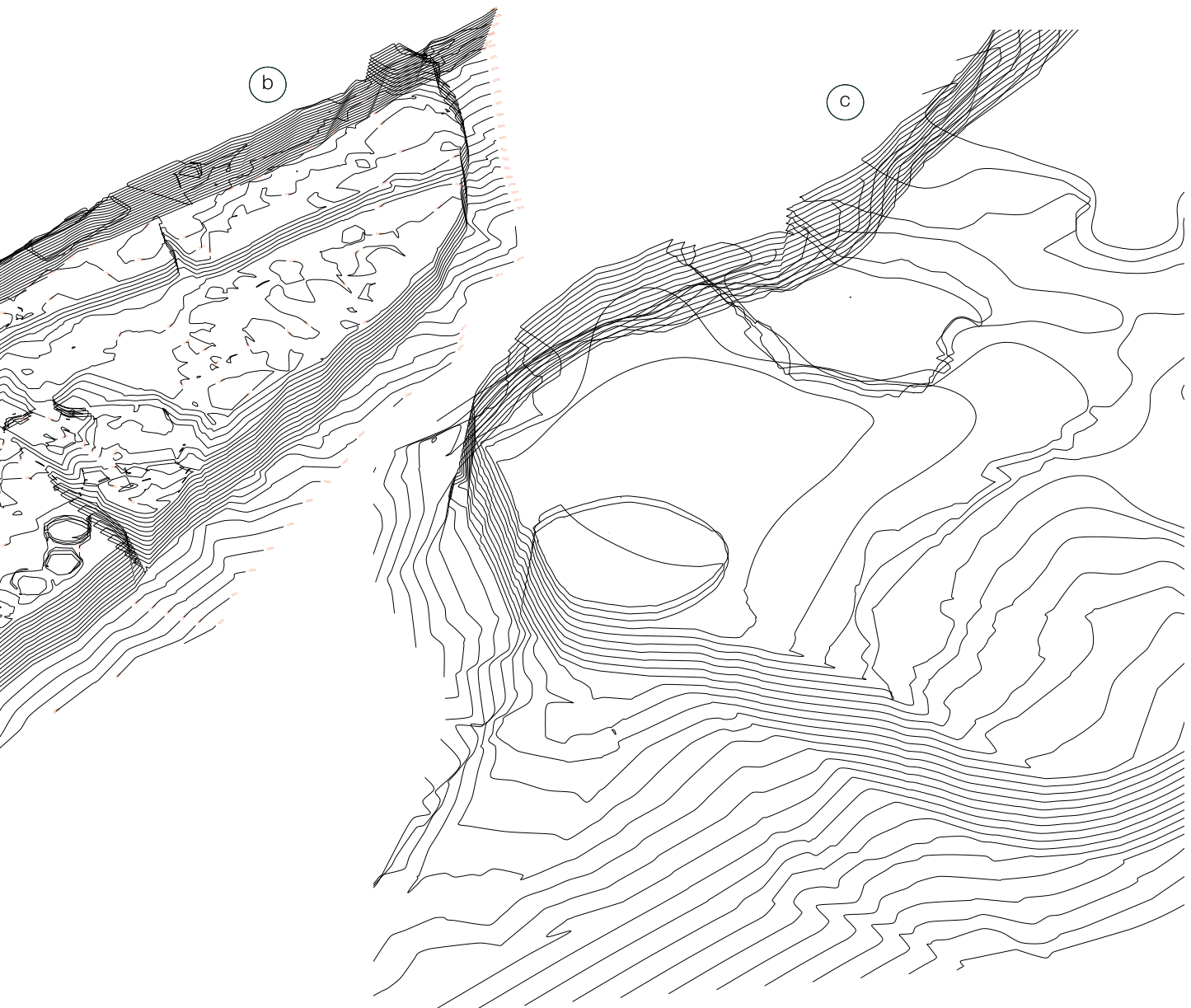


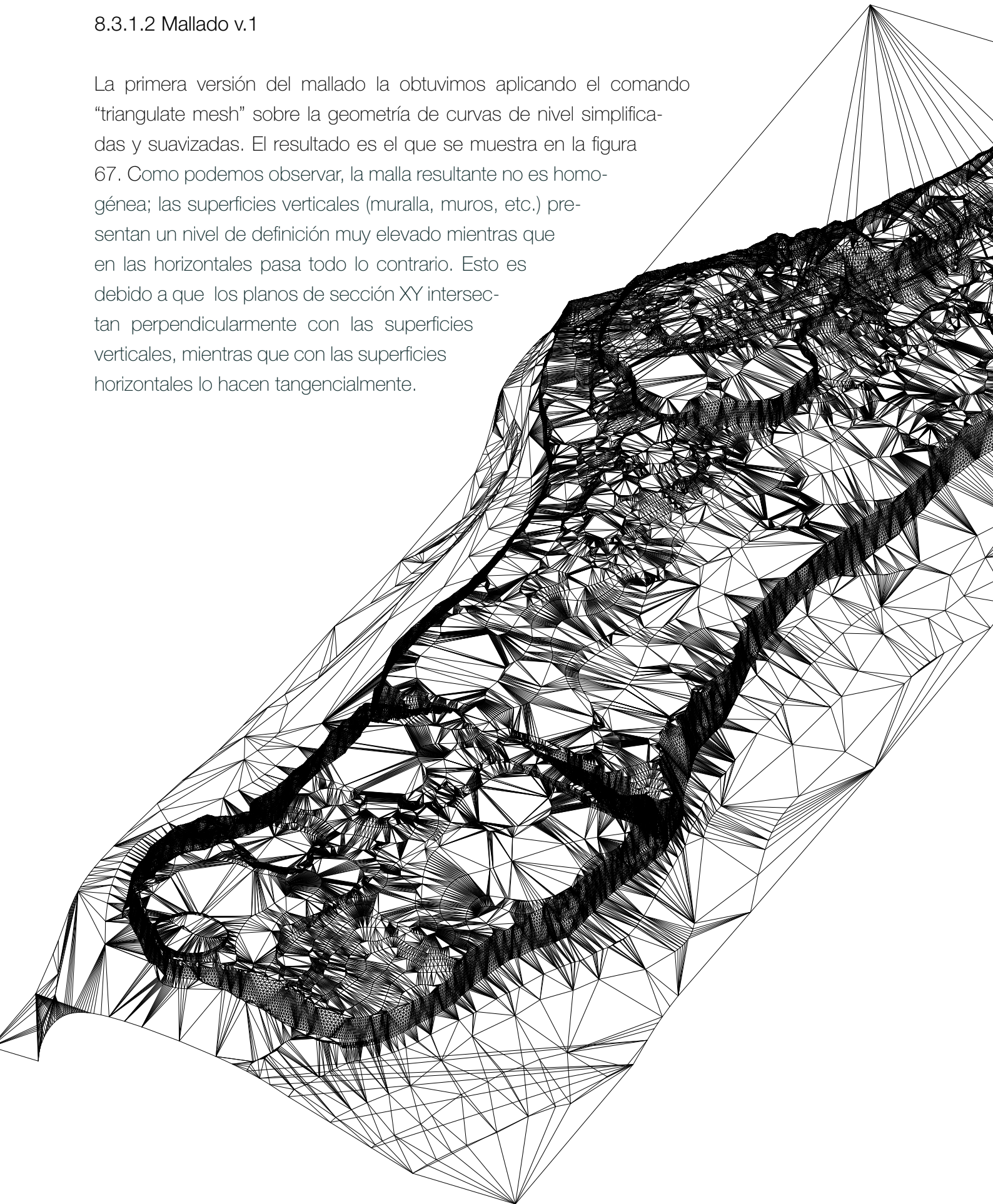
Fig. 66: Optimización de curvas de nivel: Curvas de nivel originales (a) c.n. principales (b) y c.n.optimizadas (c)
Fuente: elaboración propia

El primer paso consistió en diezmar las curvas, seleccionando únicamente las principales. Esto se aprecia en la figura 66, que muestra la diferencia entre las distancias relativas entre curvas de de 0,2 m (a) i 1m (b). No obstante, las curvas principales presentaban tramos abruptos e irregulares que implicaban que el mallado no se realizase correctamente y aparecieran geometrías indeseables en este, por lo que se procedió a un suavizado y adecuación de las mismas (c) .

El fin de este procedimiento era el de obtener una geometría adecuada sobre la cual realizar el mallado. Todo este proceso se realizó con el programa Rhinoceros, elegido por las grandes prestaciones en lo referente al modelado orgánico (cómo es nuestro caso). Aparte de esto, Rhinoceros es un programa que destaca por su interfaz intuitiva y que posee una herramienta que fue vital en todo el desarrollo del modelo 3D: el plugin "RhinoTerrain".

8.3.1.2 Mallado v.1

La primera versión del mallado la obtuvimos aplicando el comando "triangulate mesh" sobre la geometría de curvas de nivel simplificadas y suavizadas. El resultado es el que se muestra en la figura 67. Como podemos observar, la malla resultante no es homogénea; las superficies verticales (muralla, muros, etc.) presentan un nivel de definición muy elevado mientras que en las horizontales pasa todo lo contrario. Esto es debido a que los planos de sección XY interseccionan perpendicularmente con las superficies verticales, mientras que con las superficies horizontales lo hacen tangencialmente.



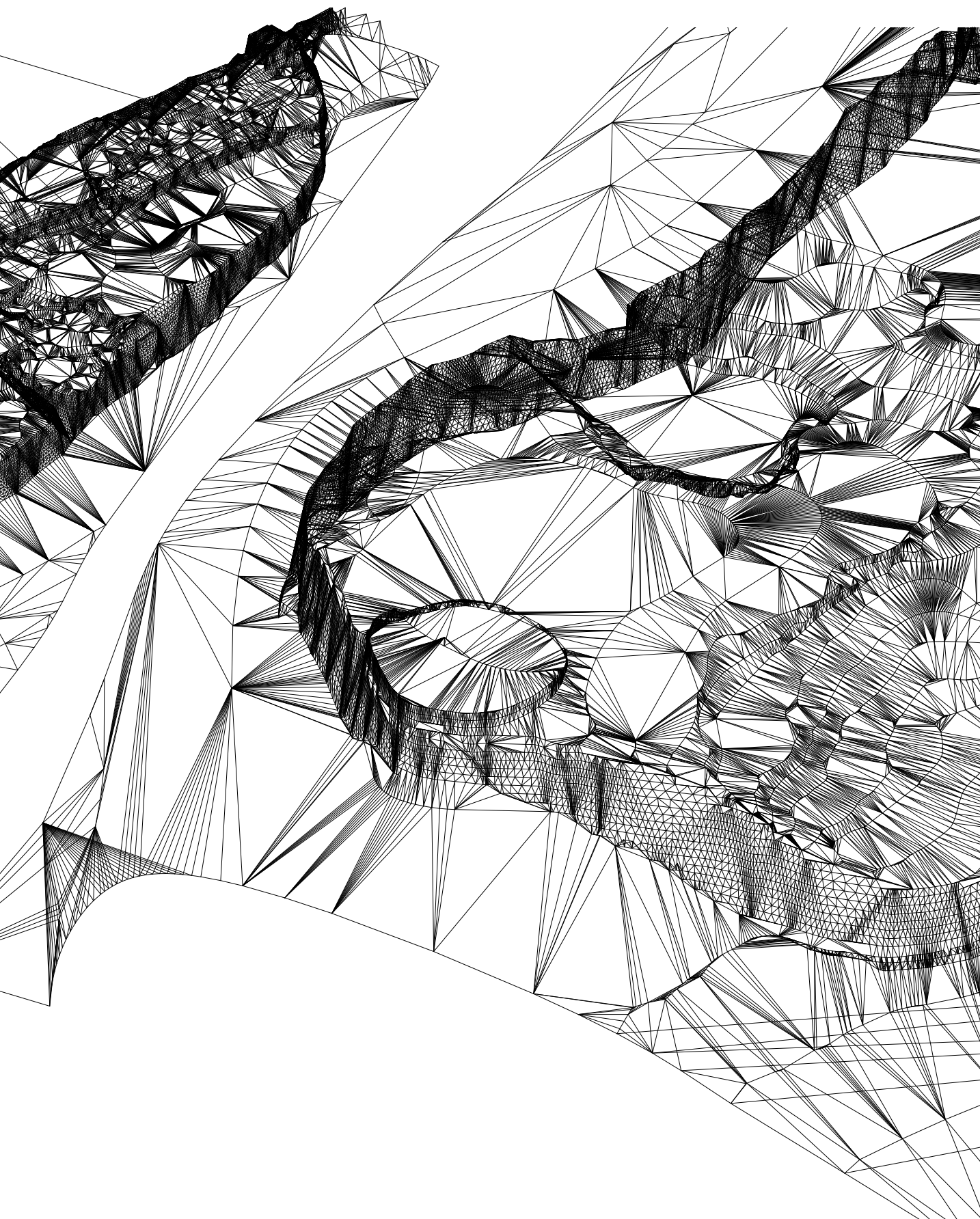


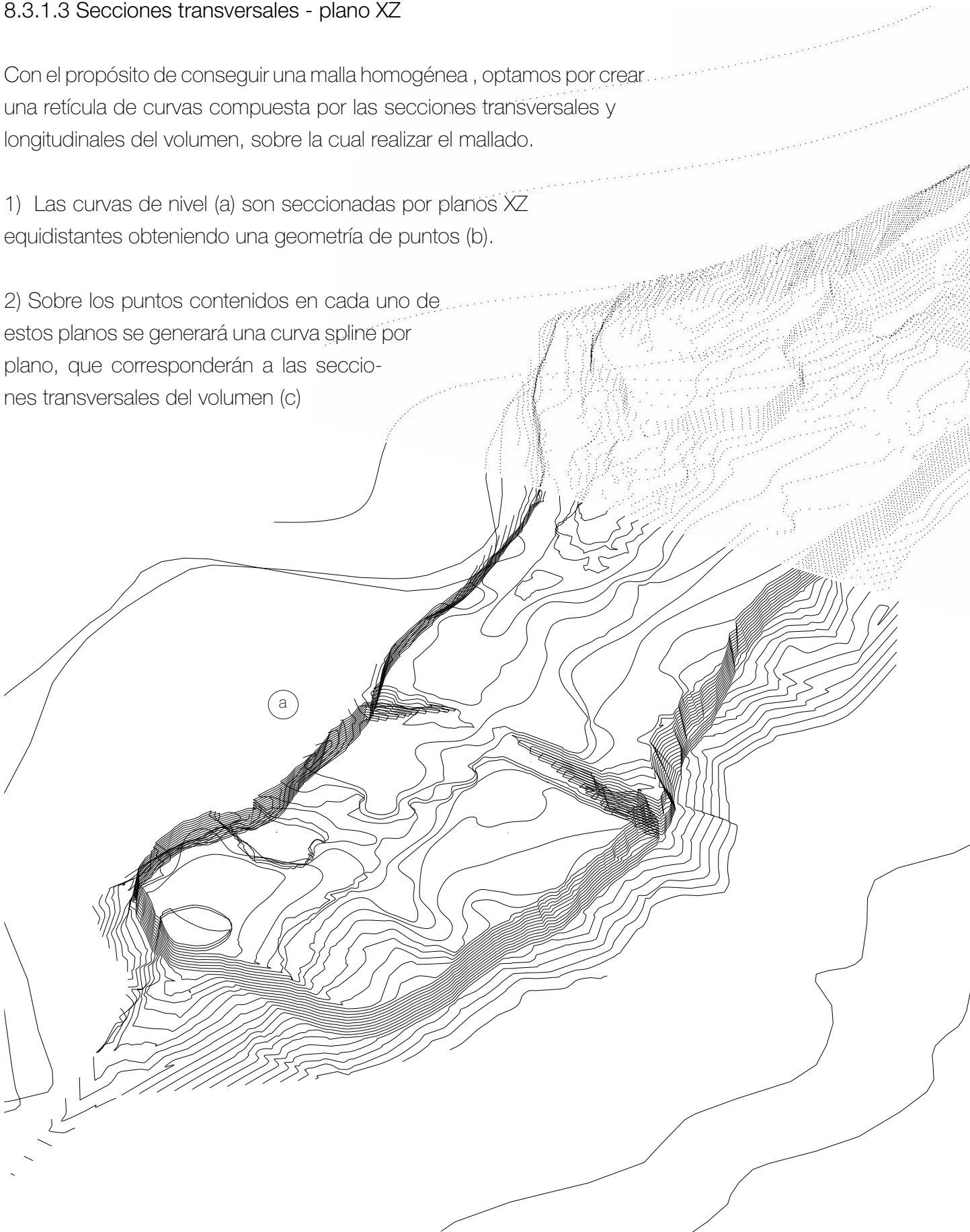
Figura 67: Mallado v1 a partir de la geometría de curvas de nivel optimizadas. La malla no es homogénea; las superficies verticales presentan un nivel de definición muy elevado mientras que en las horizontales pasa todo lo contrario
Fuente: elaboración propia

8.3.1.3 Secciones transversales - plano XZ

Con el propósito de conseguir una malla homogénea, optamos por crear una retícula de curvas compuesta por las secciones transversales y longitudinales del volumen, sobre la cual realizar el mallado.

1) Las curvas de nivel (a) son seccionadas por planos XZ equidistantes obteniendo una geometría de puntos (b).

2) Sobre los puntos contenidos en cada uno de estos planos se generará una curva spline por plano, que corresponderán a las secciones transversales del volumen (c)



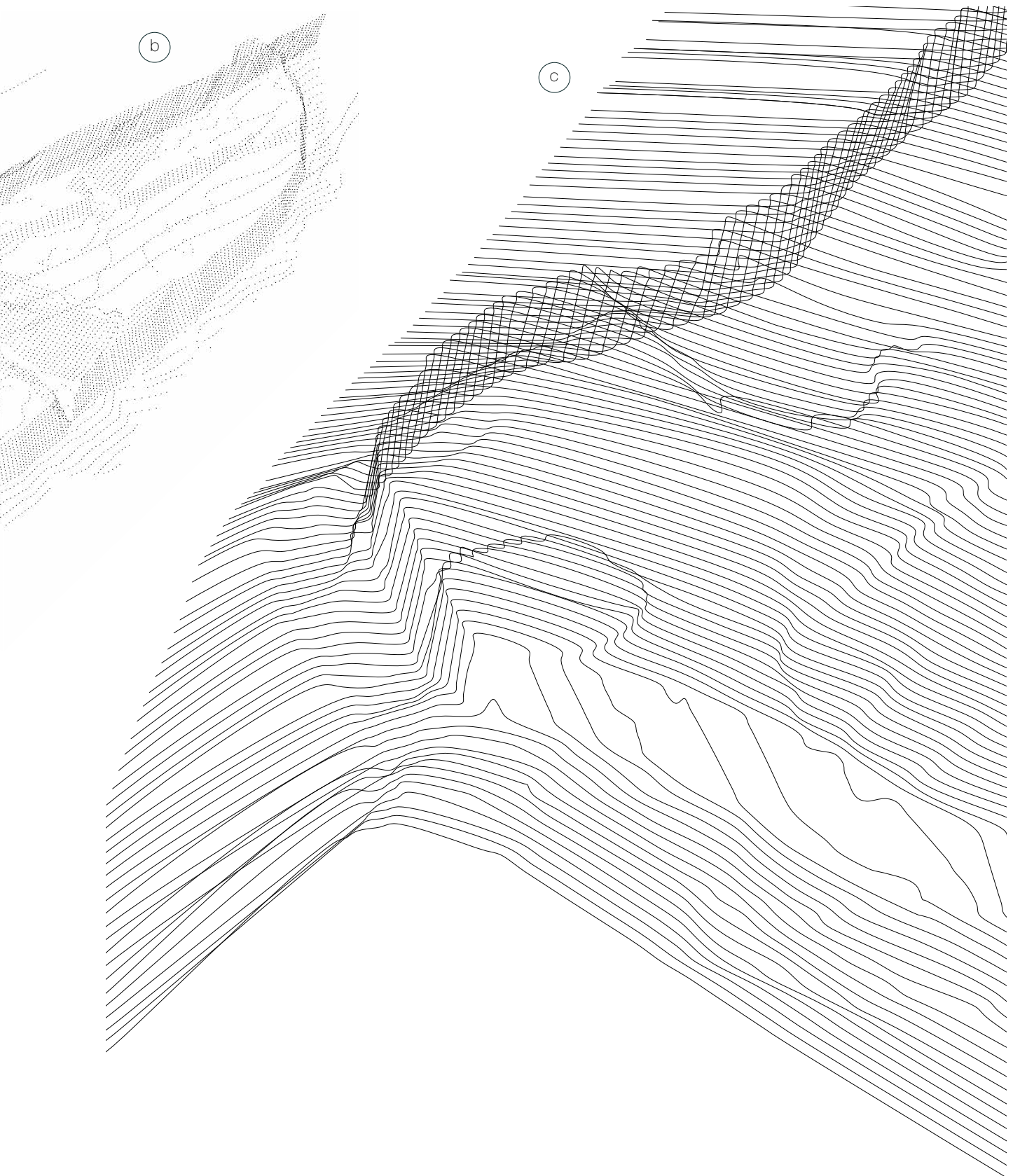


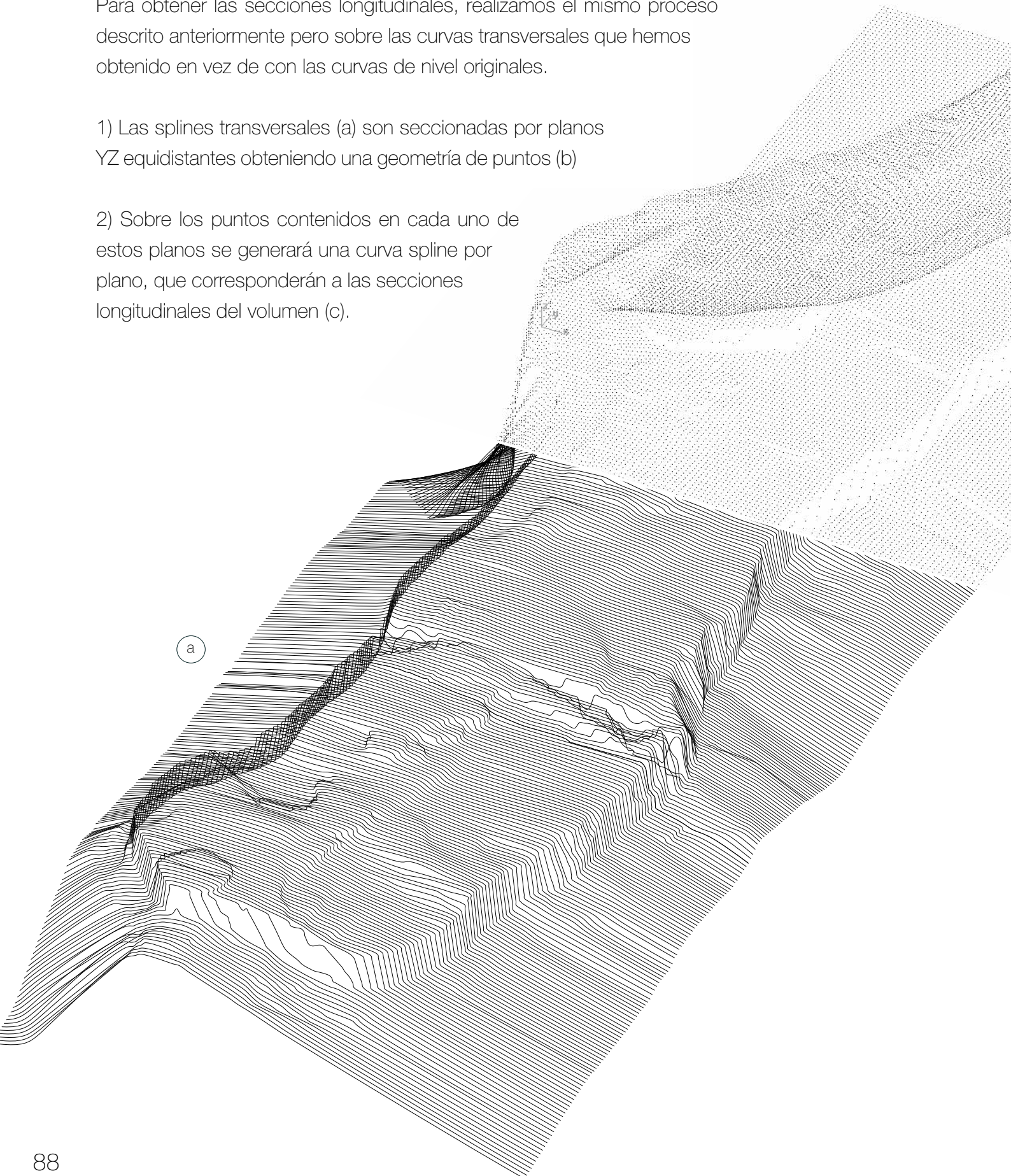
Figura 68: Obtención de las secciones transversales: curvas de nivel optimizadas (a), Geometría de puntos (b), secciones transversales (c). Como podemos observar las superficies horizontales del volumen ahora quedan definidas con mucho más detalle respecto a las curvas de nivel originales

8.3.1.4 Secciones longitudinales - plano YZ

Para obtener las secciones longitudinales, realizamos el mismo proceso descrito anteriormente pero sobre las curvas transversales que hemos obtenido en vez de con las curvas de nivel originales.

1) Las splines transversales (a) son seccionadas por planos YZ equidistantes obteniendo una geometría de puntos (b)

2) Sobre los puntos contenidos en cada uno de estos planos se generará una curva spline por plano, que corresponderán a las secciones longitudinales del volumen (c).



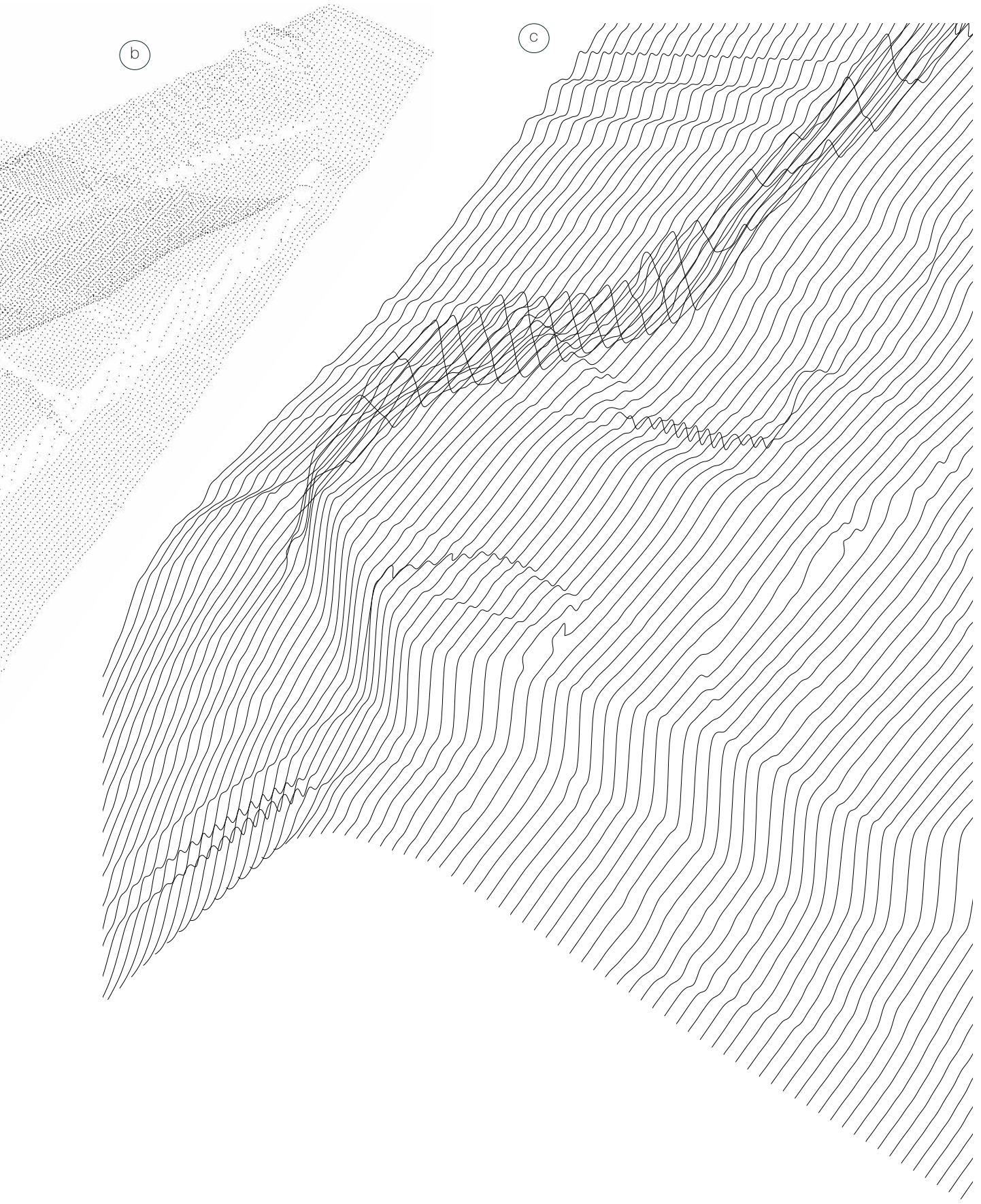
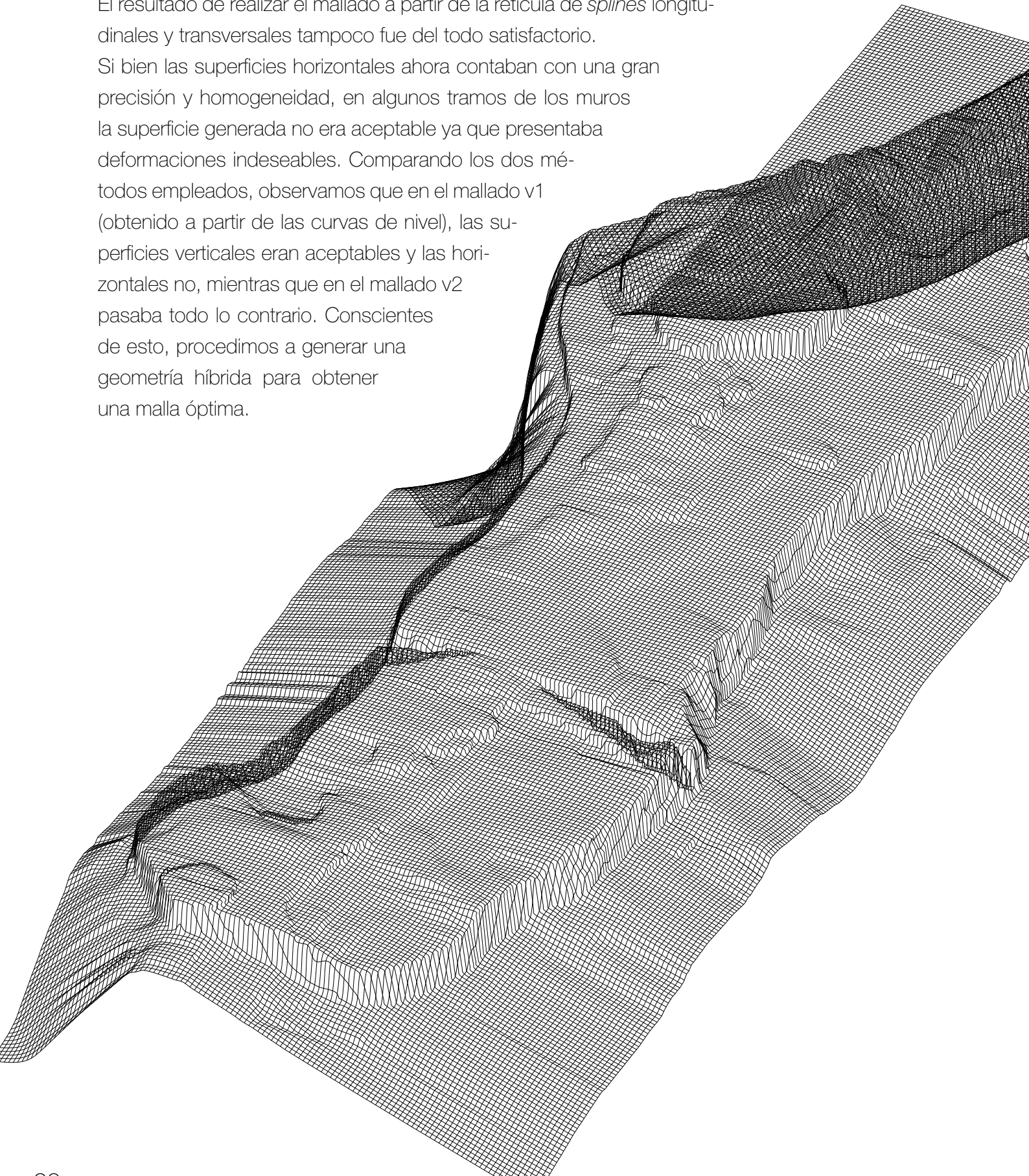


Fig.69: Obtención de las secciones longitudinales: secciones transversales (a), Geometría de puntos (b), secciones longitudinales (c). Fuente: Elaboración propia

8.3.1.5 Mallado v.2

El resultado de realizar el mallado a partir de la retícula de *splines* longitudinales y transversales tampoco fue del todo satisfactorio. Si bien las superficies horizontales ahora contaban con una gran precisión y homogeneidad, en algunos tramos de los muros la superficie generada no era aceptable ya que presentaba deformaciones indeseables. Comparando los dos métodos empleados, observamos que en el mallado v1 (obtenido a partir de las curvas de nivel), las superficies verticales eran aceptables y las horizontales no, mientras que en el mallado v2 pasaba todo lo contrario. Conscientes de esto, procedimos a generar una geometría híbrida para obtener una malla óptima.



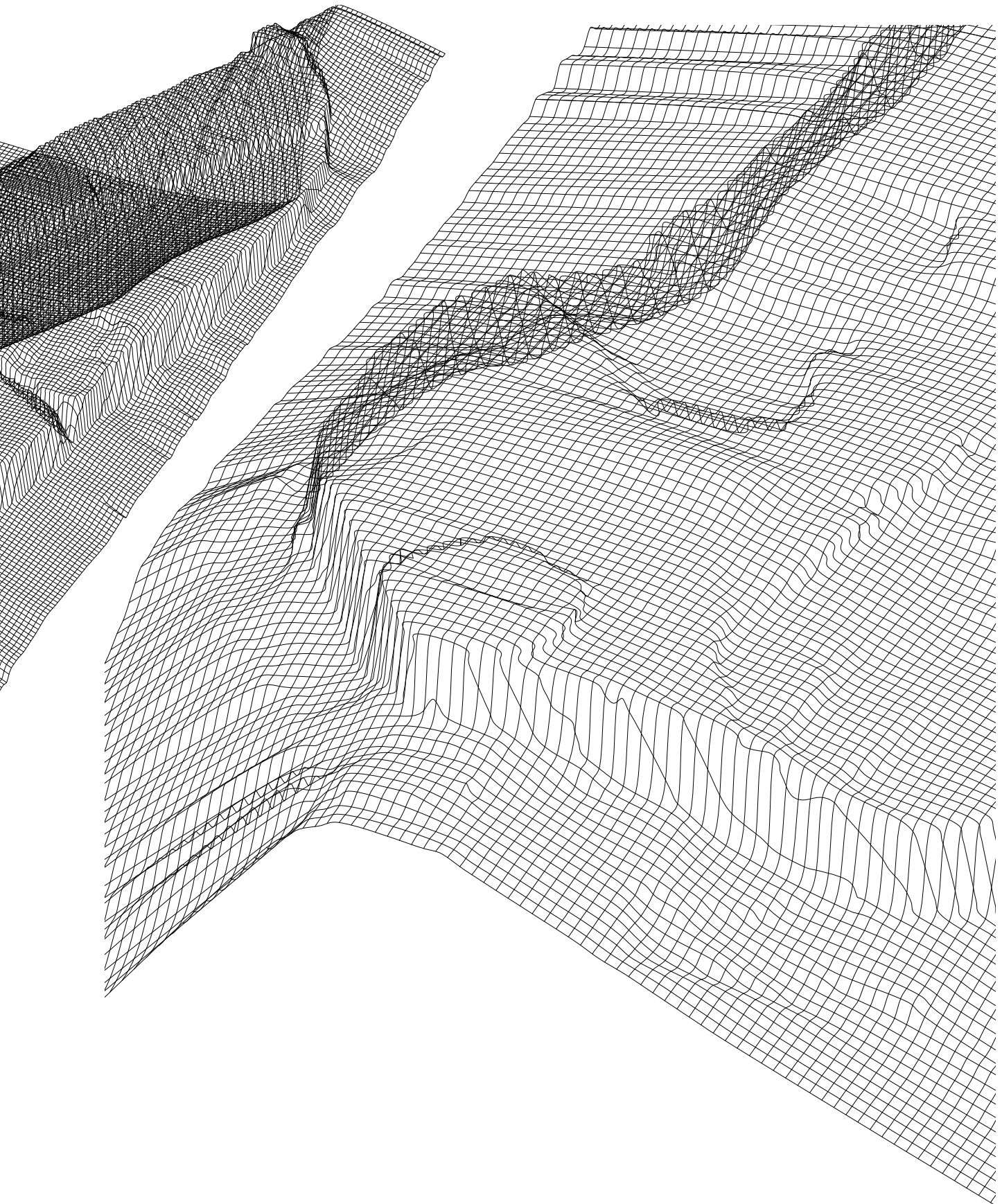
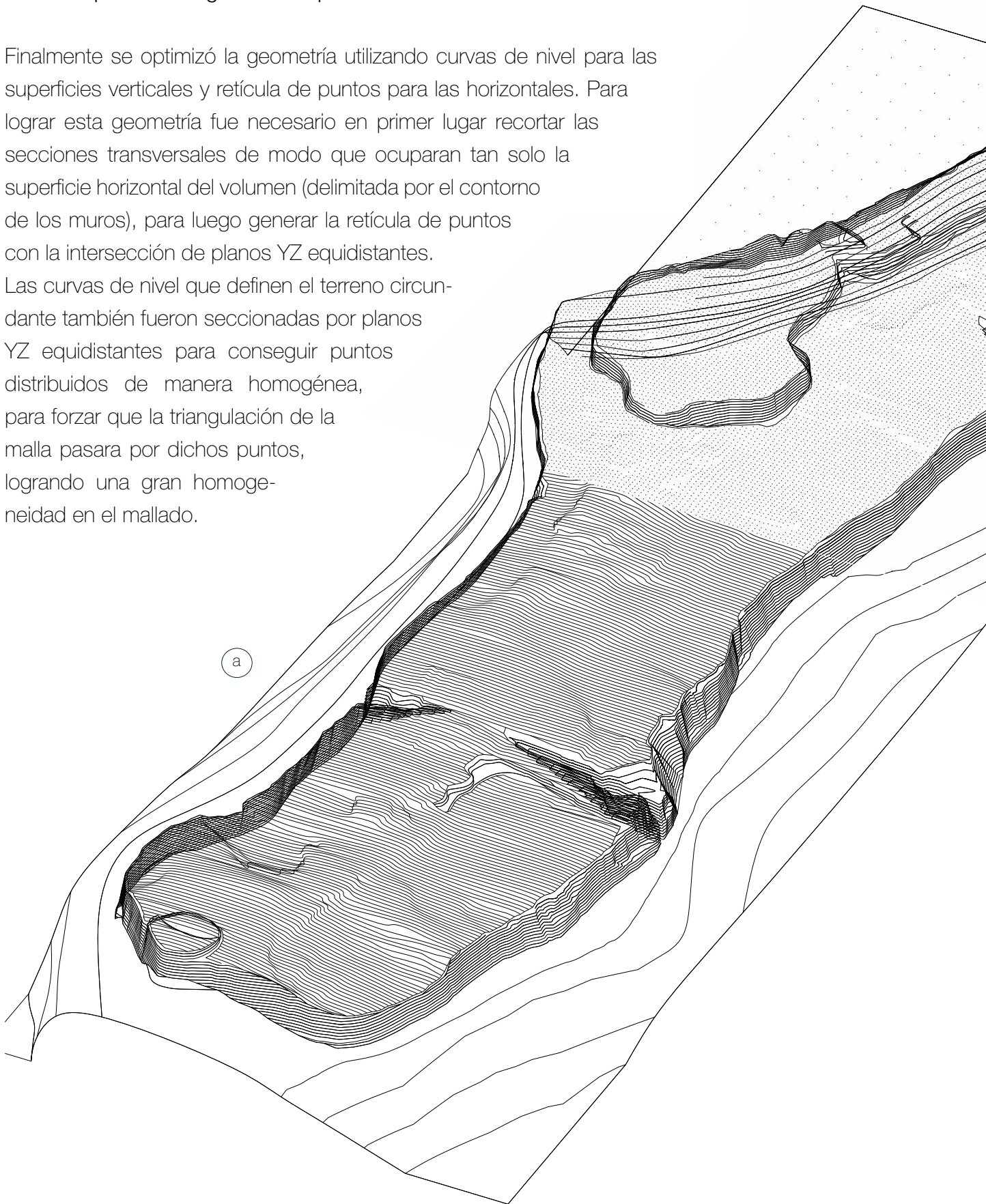


Figura 70: Mallado v2 a partir de secciones transversales y longitudinales. La superficie generada no es aceptable ya que presenta deformaciones indeseables. Fuente: elaboración propia

8.3.1.6 Optimización geométrica para el mallado

Finalmente se optimizó la geometría utilizando curvas de nivel para las superficies verticales y retícula de puntos para las horizontales. Para lograr esta geometría fue necesario en primer lugar recortar las secciones transversales de modo que ocuparan tan solo la superficie horizontal del volumen (delimitada por el contorno de los muros), para luego generar la retícula de puntos con la intersección de planos YZ equidistantes. Las curvas de nivel que definen el terreno circundante también fueron seccionadas por planos YZ equidistantes para conseguir puntos distribuidos de manera homogénea, para forzar que la triangulación de la malla pasara por dichos puntos, logrando una gran homogeneidad en el mallado.



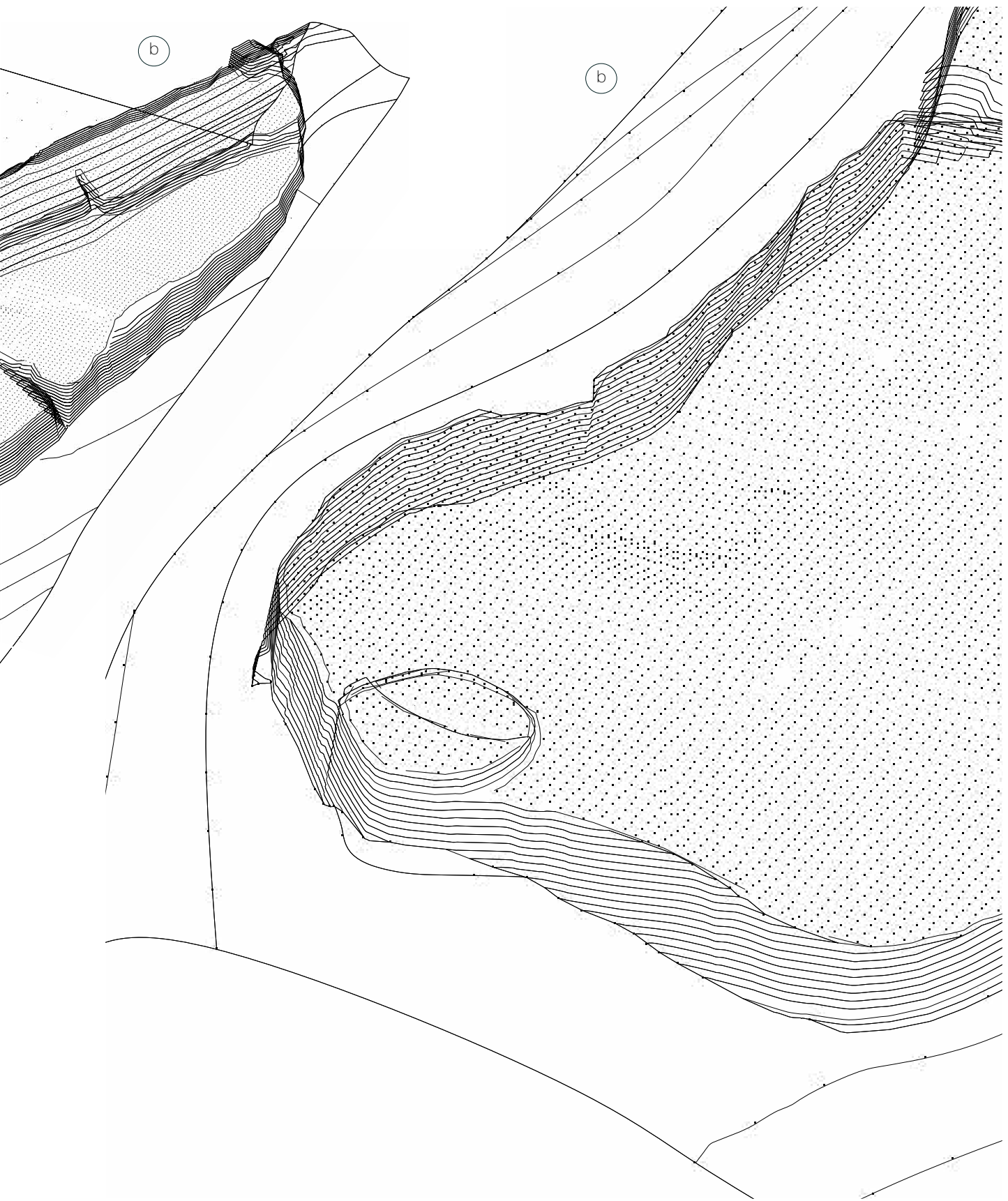
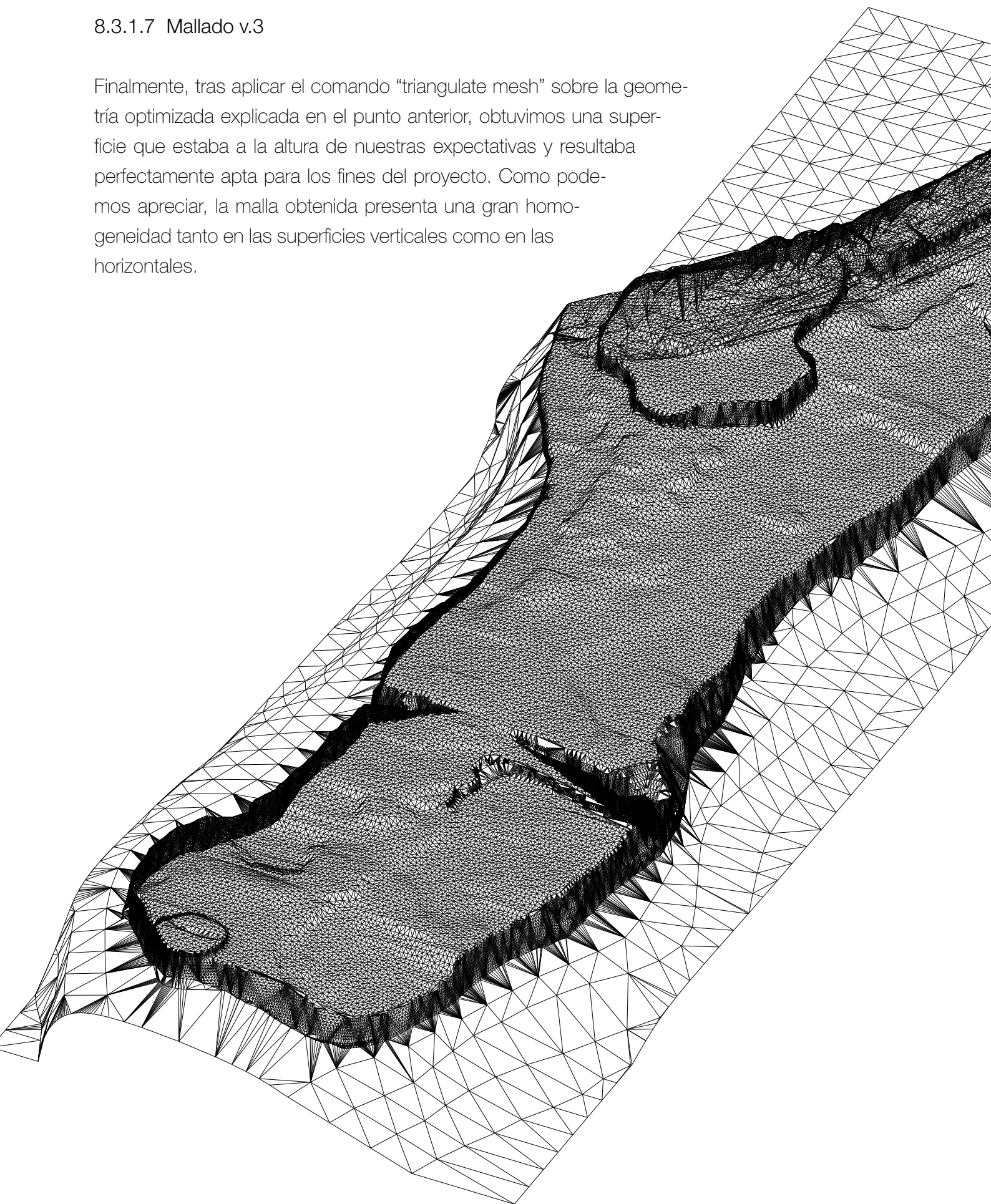


Fig.71: Optimización geométrica para el mallado: Se buscó una geometría híbrida; curvas de nivel para los tramos verticales y puntos uniformemente distribuidos para las horizontales (b). Estos puntos se obtuvieron a partir de las secciones transversales recortadas (a). Los tramos inclinados presentan curvas y puntos simultáneamente. Fuente: elaboración propia

8.3.1.7 Mallado v.3

Finalmente, tras aplicar el comando “triangulate mesh” sobre la geometría optimizada explicada en el punto anterior, obtuvimos una superficie que estaba a la altura de nuestras expectativas y resultaba perfectamente apta para los fines del proyecto. Como podemos apreciar, la malla obtenida presenta una gran homogeneidad tanto en las superficies verticales como en las horizontales.



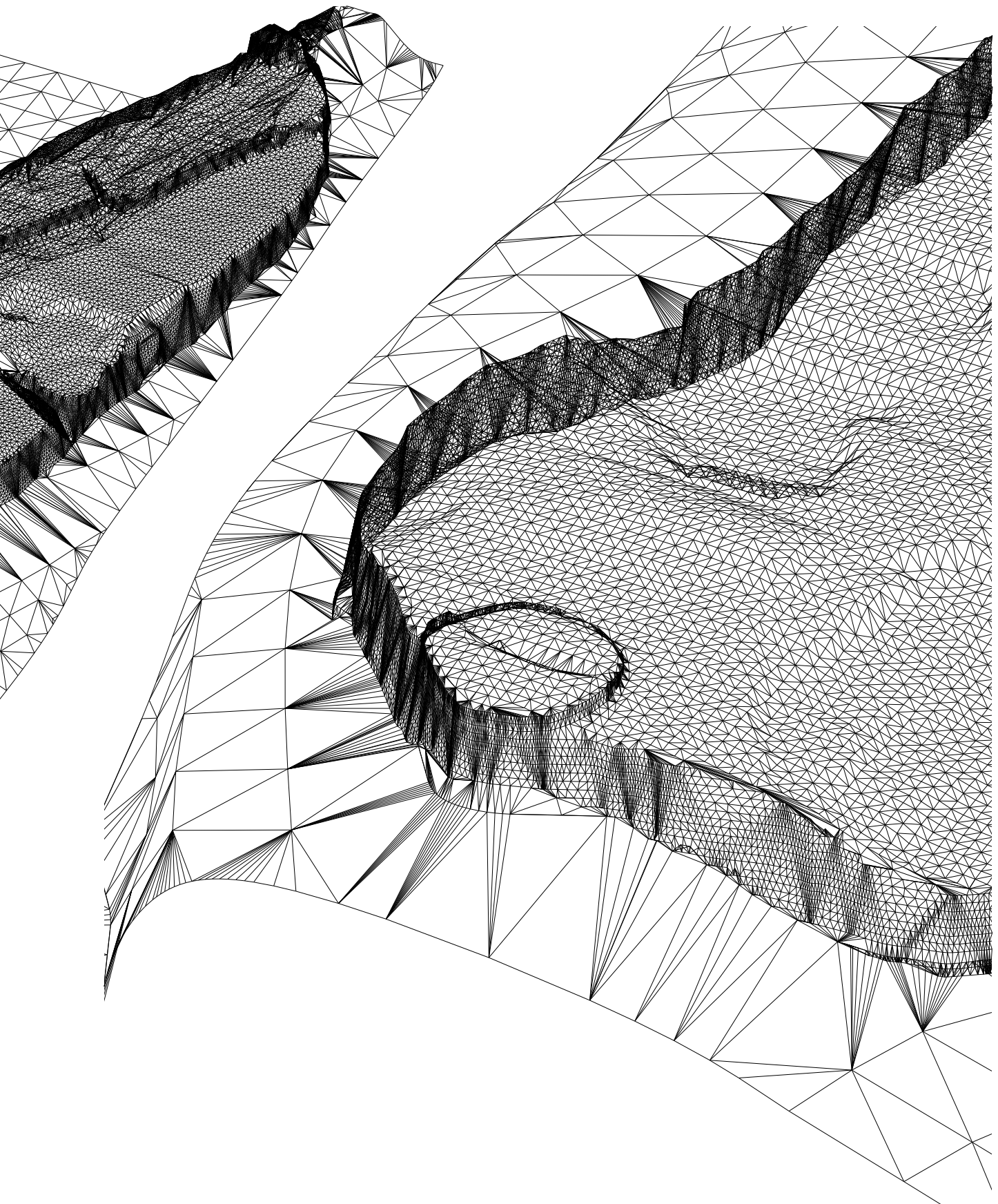


Figura 72: Mallado definitivo v3 a partir de la geometría optimizada se consiguió un mallado homogéneo
Fuente: elaboración propia

8.3.1.8 Modelado de estructuras

El siguiente paso a realizar fue el modelado de las edificaciones de Kuélap. En este punto fue imprescindible la coordinación técnica con la dirección arqueológica de Kuélap para lograr que la hipótesis arqueológica de la Ciudadela en su periodo ocupacional utilizada en la maqueta contara con el rigor científico necesario. Por el hecho de utilizar una escala de 1:750 en la fabricación de esta parte de la maqueta, las construcciones no requerían de gran detalle ya que su tamaño real tras la fabricación era en su mayoría inferior a un centímetro. Por este hecho se omitió la representación de puertas y ventanas, y la forma de las estructuras circulares típicas de Kuélap fue sintetizada y simplificada en formas geométricas básicas. La mayor parte de las construcciones de Kué-

lap, exceptuando algunas estructuras singulares, presentan una planta en forma circular o ovoide; patrón arquitectónico prototípico de la cultura arqueológica Chachapoya. En primer lugar se modeló una casa prototípica, con un cuerpo cilíndrico y un tejado cónico, coronado por un pequeño tronco-de-cono invertido. Fue de gran utilidad la representación pictórica de Kuélap en plena ocupación que exhibe el “Museo de las Momias” de Leymebamba, que sirvió como referencia en el diseño del modelo pese a la solución monocromática elegida. Con las curvas de nivel visibles, fuimos clonando la casa prototípica y situándola en cada una de las plantas constructivas de viviendas que mostraba el plano y adaptándolas a su forma y dimensiones.



Figura 73: Reconstrucción pictórica de la Ciudadela de Kuelap en plena ocupación ^[27]
Fuente: Museo de las Mómias de Leymebamba (Amazonas, Perú)

La reconstrucción presentaba, además, algunas estructuras singulares que fueron modeladas individualmente, cómo es el caso del Templo Mayor, el Castillo, la Callanca y algu-

nas estructuras de planta rectangular pertenecientes a la época inca, última etapa de la ocupación poblacional de Kuélap.



Figura 74: Modelo 3D de Kuélap con estructuras arquitectónicas incorporadas. Vista del Sector Sur.
Fuente: elaboración propia

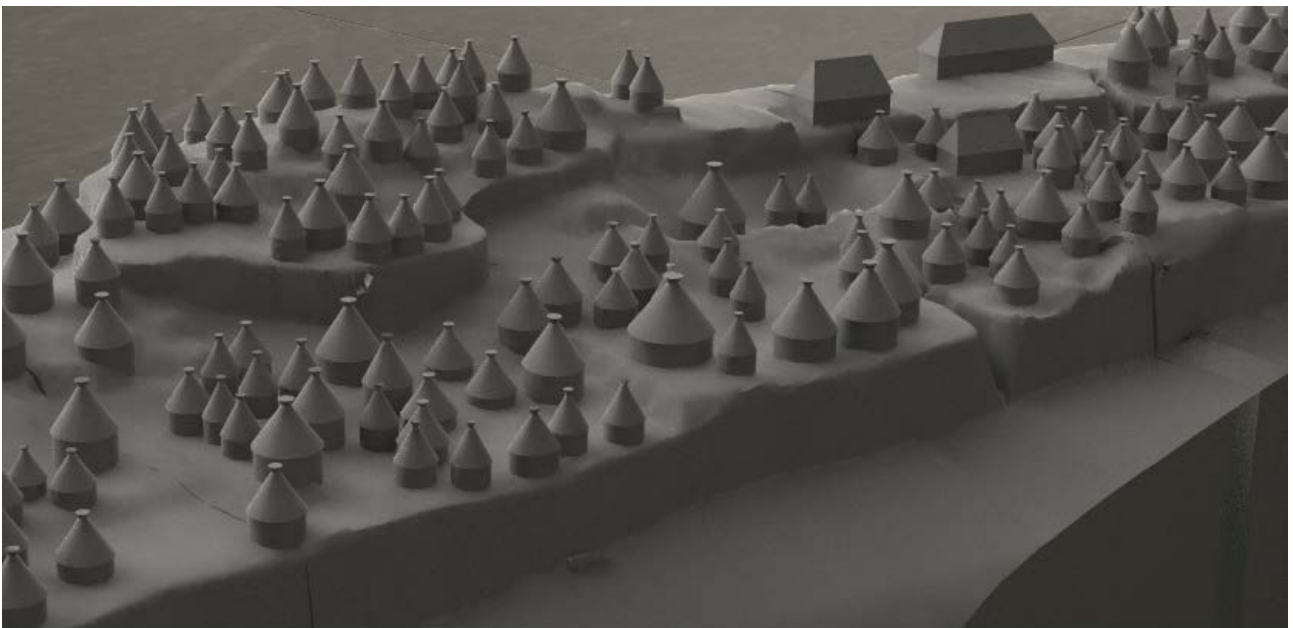


Figura 75: Modelo 3D de Kuélap con estructuras arquitectónicas incorporadas. Vista general
Fuente: elaboración propia

8.3.1.9 Volumen final parte A

Debido a las limitaciones del área imprimible de la máquina de prototipado rápido Z-Printer 450 (203 x 254 x 203 mm), diseñamos la maqueta general de 20 módulos de 200 x 240 mm, contando con unas dimensiones totales de 1,20 x 0,8 metros. La superficie de la parte A de la maqueta (Kuélap) se diseñó de tal manera que en planta ocupara una área de 800 x 240 cm, con lo que poder dividirla perfectamente en cuatro módulos. Tras sec-

cionar la superficie en cuatro partes, sobre cada una de estas aplicamos el comando del Rhinoterrain “create base”, con lo obtuvimos una base o soporte para cada módulo tal y como se muestra en la figura. Para terminar, aplicamos el comando “offset mesh” para dar grosor a la superficie correspondiente a cada módulo, obteniendo cuatro mallas perfectamente cerradas y aptas para el prototipado rápido.

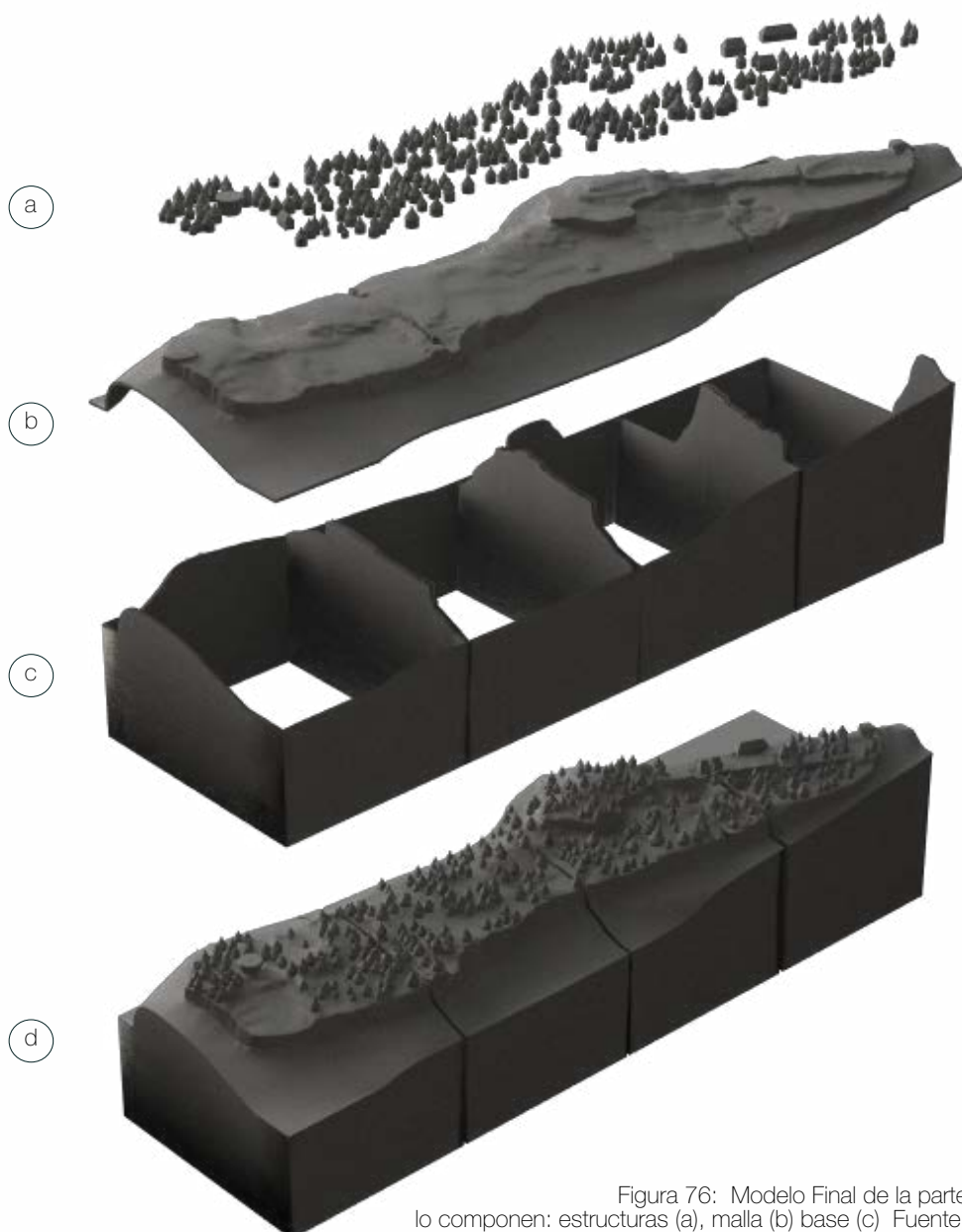


Figura 76: Modelo Final de la parte A (d) y partes que lo componen: estructuras (a), malla (b) base (c) Fuente: elaboración propia

8.3.2 Modelado de la “Parte B”

8.3.2.1 Importación de superficie de G.E.

La parte B de la maqueta presentó un proceso de modelado muy diferente al descrito en la parte A. En este caso no se partió de una geometría de curvas de nivel sino que la geometría fue importada directamente desde el Google Earth v 4.2 con el plugin Rhino Terrain, y la textura se trabajó independientemente. La versión 4.2 del G.E. es una versión antigua, por este motivo no es posible obtener ortofotos a gran resolución. En cambio, permite importar superficies con mucha más definición y calidad que con las versiones posteriores donde esto está limitado. Por este motivo, el relieve fue importado con esta versión, óptima para trabajar con el plugin Rhino Terrain.

8.3.2.2 Importación de ortofoto satelital

Para obtener una buena ortofoto que sirviera como textura de la superficie importada, se utilizó el Google Earth Pro 6.1 que permite guardar ortofotos satelitales a gran resolución (4800 x 2800) a diferencia de la versión 4.2. En este punto consideramos oportuno modificar la ortofoto para complementarla con la mayor cantidad de información toponímica posible, ya que aparte de informar de los nombres de montañas, quebradas, barrancos y pueblos, en la toponimia autóctona es donde más sustrato ha quedado de las lenguas prehispánicas y pre-incaicas como sería el caso, según algunos autores, de una hipotética lengua Chacha* anterior al Quechua local, caracterizada entre otras cosas por el uso de las terminaciones -mal,-huala, -gat y -lap, como en el caso de “Kuélap”.

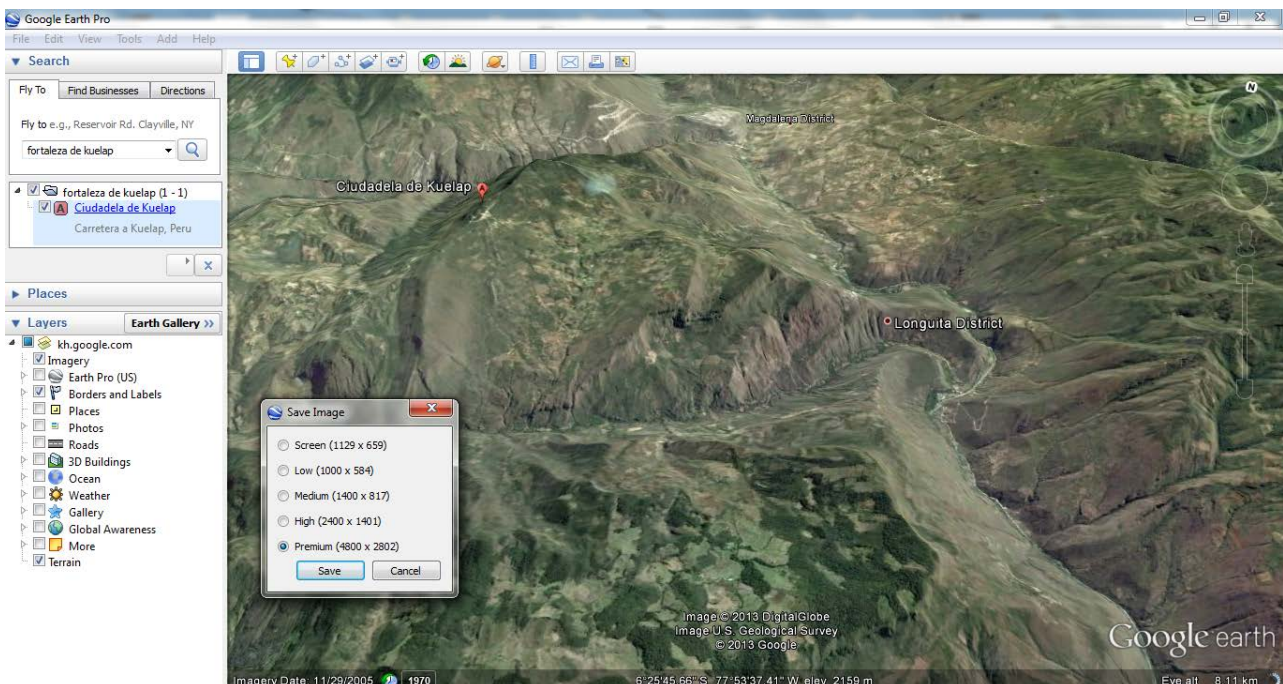


Figura 77: Importación de ortofoto satelital en alta resolución desde el Google Earth Pro
Fuente: elaboración propia



Fig.80: Capas del modelo: toponímia (a), ortofoto (b) malla importada del GE (c). Modelo final dividido en 16 módulos (d)
Fuente: elaboración propia



Fig.81: Ortofoto satelital del entorno de Kuelap importada del G.E, con toponimia importada de mapa físico Fuente: elaboración propia

8.3.2.4 Modelo Final

Tras proyectar la ortofoto con los topónimos correspondientes* al relieve importado del Google Earth*, obtuvimos la superficie mapeada definitiva*. Esta superficie la dividimos en 16 módulos (4x4) de 200 x 240 mm cada uno, creando sus respectivas bases con un espesor de pared definido en 4mm. Todo esto se realizó mediante la opción “exportar a Z-Corp” integrada en el plugin Rhino Terrain, que permite crear un módulos directamente a partir de una malla y del rectángulo que define cada módulo en planta. Gracias a este comando, obtuvimos fácilmente 16 módulos perfectamente aptos para su impresión 3D con la Z-Printer 450, economizando el material necesario para su impresión.



Fig.82: Render de la parte B (maqueta del entorno de Kuelap) separada en sus 16 módulos
Fuente: elaboración propia





Fig.83: Render de la Parte B.
Fuente: elaboración propia

8.4 FASE 4: PROTOTIPADO

8.4.1 Hardware impresión 3D: Z-Printer 450

Como ya hemos comentado anteriormente, el Departamento de Ingeniería de la UPV puso a la disposición del Proyecto la máquina de prototipado rápido Z-Printer450, por lo que esta última fase se desarrolló íntegramente en dicho departamento bajo la tutela del director de PFC. Mediante este equipamiento, los módulos diseñados con programas CAD se materializaron en objetos físicos, que finalmente fueron sometidos a un infiltrado para aumentar su resistencia y mejorar su acabado. Las especificaciones técnicas de la Z-Printer 450 se describen a continuación:

Tamaño de impresión: 203 x 254 x 203 mm
 Color: sí, cabezal de impresión de tres colores
 Resolución: 300 x 450 ppp
 Grosor de capa: 0,089 - 0,102 mm
 Velocidad de producción: 2-4 capas/minuto



Fig.84: Impresora 3D Z-Printer 450.

8.4.2 Software impresión 3D: Z-Print

La Z-Printer 450 funciona conectada con un ordenador, donde, mediante el software Z-Print, se validan los modelos 3D para ser enviados a la máquina de prototipado, además de comprobar automáticamente la capacidad de la impresora y los niveles necesarios de materiales para garantizar que dispone de la cantidad adecuada para completar el trabajo. El Z-Print es un programa intuitivo que además permite calcular de antemano los tiempos de impresión y el material necesario para cada módulo. Después de exportar todos los módulos en formato .zpr, -formato compatible con la impresora 3D- y importarlos al programa Z-Print, todos estos fueron testados para estimar el material necesario y planificar los tiempos de impresión.

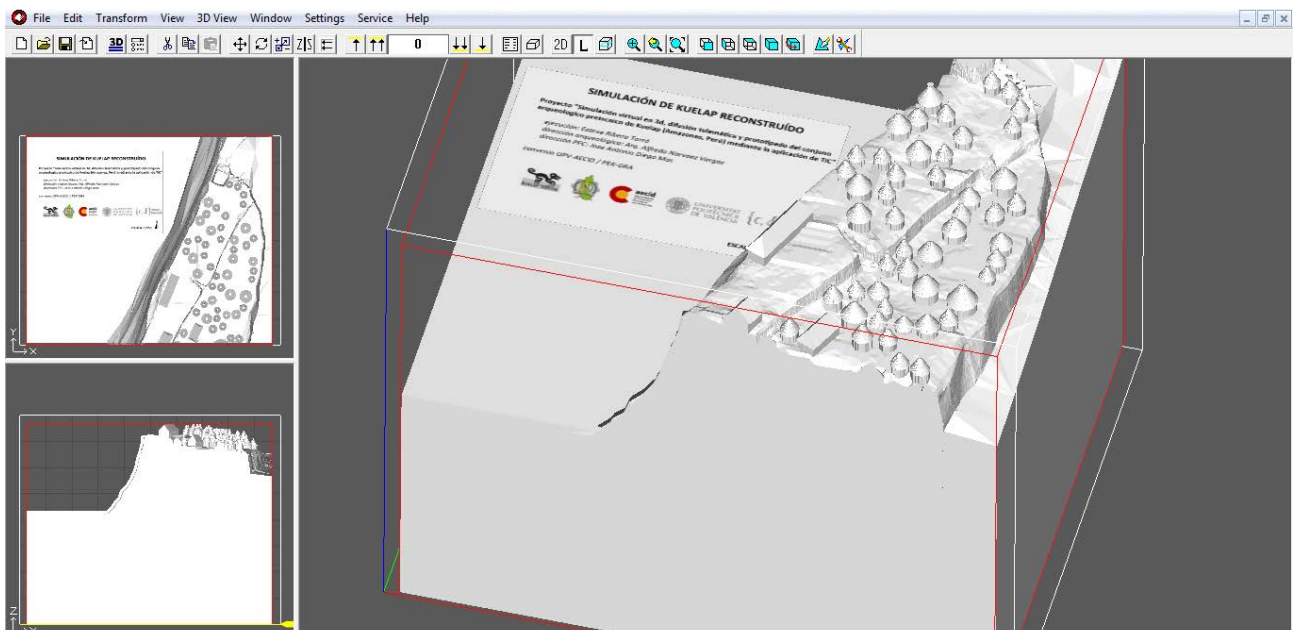
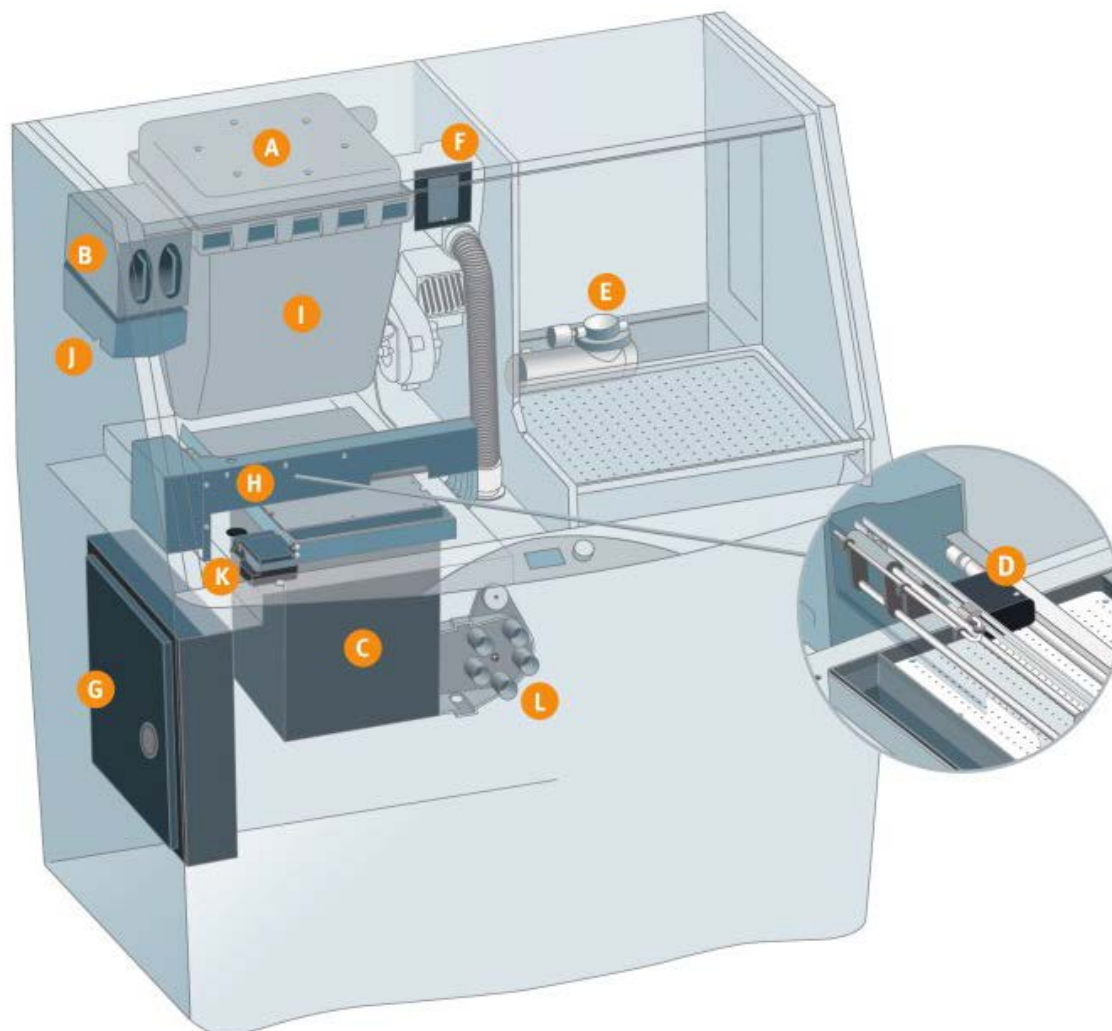


Fig.85: Captura de pantalla del programa Z-Print con el módulo A1
 Fuente: elaboración propia

8.4.3 Componentes de la Z-Print 450



A. Filtro de aire automático: se encarga de que todo el polvo permanezca en el interior de la máquina emitiendo únicamente aire limpio en la oficina o taller.

B. Cartucho de aglutinante: contiene el adhesivo a base de agua que solidifica el polvo

C. Cubeta de construcción: el área donde se crea el modelo

D. Carro: se desplaza a lo largo del puente para colocar los cabezales de impresión.

E. Compresor: genera aire comprimido para retirar el polvo de los modelos terminados

F. Filtro de residuos: evita que entren residuos sólidos en la tolva durante el reciclado de polvo posterior a la impresión, garantizando la limpieza de la siguiente impresión.

G. Caja de componentes electrónicos: procesador integrado que controla el funcionamiento de la ZPrinter

H Puente: barra horizontal que avanza y retrocede para generar las capas del modelo

I. Tolva: contiene el polvo con el que se crea el modelo

J. Depósito: recoge el aglutinante de los cartuchos y lo transfiere al puente

K. Estación de mantenimiento: limpia automáticamente los cabezales de impresión cuando es necesario

L. Válvula de vacío: el cerebro del sistema de retirada de polvo que aspira la cámara de impresión, controla el sistema de desbordamiento, retira el polvo de la estación de mantenimiento y aspira el polvo del sistema para reintroducirlo en la tolva.

Fig.86: Partes de la Z-Printer 450 [29]

Fuente: Cuaderno Divulgativo: sobre la Impresión 3D Pag. 6. Z-Corporation

8.4.4 Flujo de trabajo del prototipado



Fig.87: Infografía del Flujo de trabajo del prototipado
 Fuente: Cuaderno Divulgativo: sobre la Impresión 3D Pag. 5 . Z-Corporation

8.4.5 Consumibles

Los cálculos estimados en cuanto a tiempo y material por módulo se muestran en el cuadro de la figura 88. Como podemos observar, a pesar de ser una máquina de prototipado rápido, la impresión de cada módulo oscila entre las 3 y las 20 h de fabricación; encontrándose la media en 9h 32min por módulo. Por otro lado, este estudio también permitió determinar qué consumibles y en que cantidades había que solicitar al distribuidor.

K1	A1	B1	C1	D1
K2	A2	B2	C2	D2
K3	A3	B3	C3	D3
K4	A4	B4	C4	D4

Fig.88: Nomenclatura general de los módulos de la maqueta

módulo	tiempo	ml (binder)	cc (composite)
K1	20h 07min	235,00 ml	528,99cc
K2	16h 20min	246,00 ml	554,31cc
K3	14h 59min	228,70 ml	520,22cc
K4	14h 40min	220,30 ml	504,28cc
A1	10h 29min	117,70 ml	253,31cc
A2	8h 38min	102,30 ml	215,86cc
A3	4h 07min	70,80 ml	175,24cc
A4	5h 57min	85,00 ml	202,20cc
B1	8h 32min	106,00 ml	233,89cc
B2	7h 11min	94,90 ml	220,67cc
B3	7h 13min	92,20 ml	207,49cc
B4	5h 16min	79,20 ml	193,93cc
C1	9h 59min	117,00 ml	261,09cc
C2	8h 55min	107,50 ml	238,69cc
C3	6h 52min	92,10 ml	223,84cc
C4	6h 02min	86,50 ml	198,83cc
D1	11h 44min	125,80 ml	272,21cc
D2	9h 04min	107,30 ml	245,12cc
D3	8h 04min	96,70 ml	226,71cc
D4	2h 55min	68,00 ml	218,72cc
TOTAL	187h 04min	2479,00ml	5695,60cc

A continuación se muestran todos los artículos que formaban parte del pedido de consumibles realizado al distribuidor de consumibles autorizado:



POLVO COMPOSITE

zp150 cartucho 8 Kg.. 6.555 cc

Composite de Alta Definición:

Es el composite estándar para partes resistentes y de alta definición. Es el material óptimo tanto para imprimir a color yeso como a todo color y para maximizar el acabado de superficie, la resolución y la resistencia de la pieza.



AGLUTINANTE

zb63 transparente 2 unidades (2,5 l)

Aglomerante en color (Transparente). Es el aglomerante que se utiliza para producir piezas a todo color. La tecnología DSPC (Proyección aglutinante) que utiliza la impresora 3d trabaja mediante la deposición de material en polvo (composite) en capas y su ligazón selectiva con el sistema de impresión de "chorro de tinta" de material aglutinante.



INFILTRANTE

Z-bond 101 (450 gr)

Los modelos creados con Z-Printer 450 son relativamente frágiles recién sacados de la máquina. El infiltrante Z-Bond™ (cianocrilato) sirve para otorgar resistencia a la pieza a la vez que consigue resultados vistosos con colores brillantes.

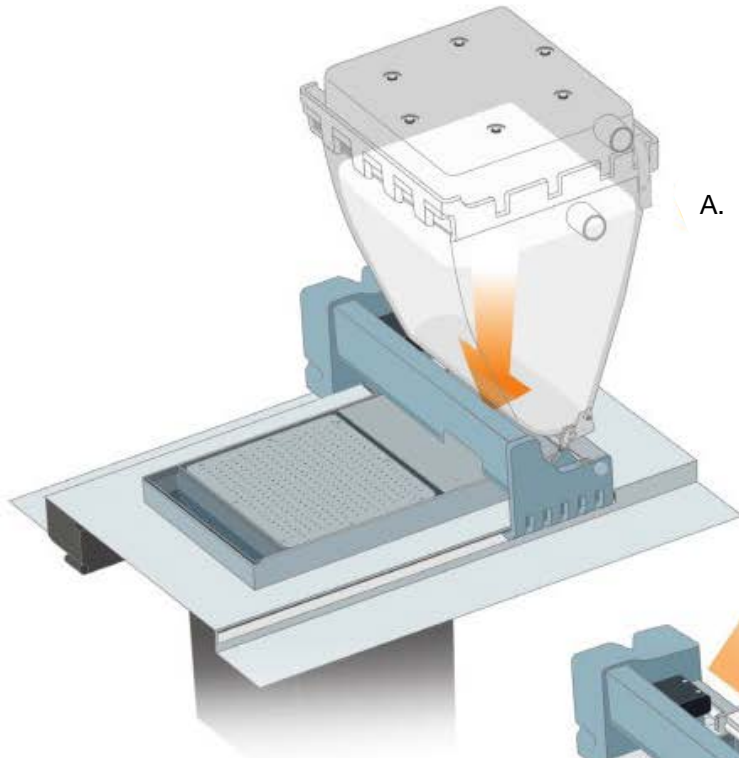


TINTA COLOR / B&W

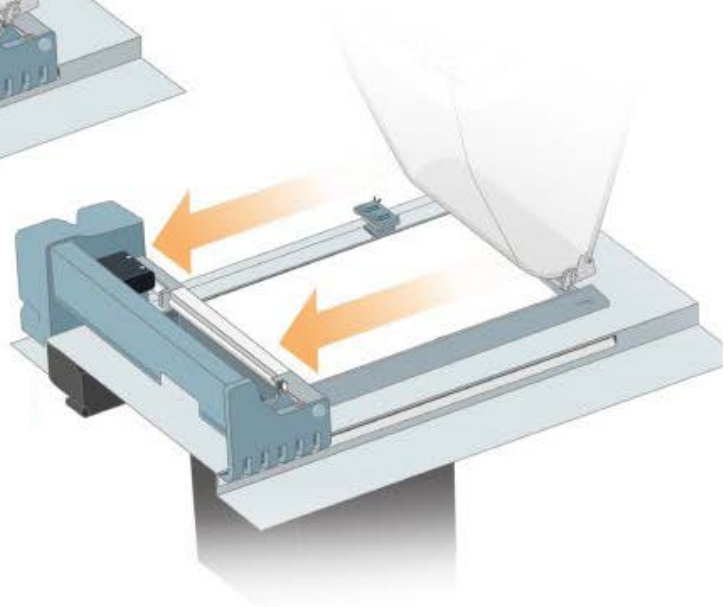
Cabezal de Impresión HP57 y HP11

Las tintas del cabezal de impresión se mezclan con el aglutinante como si de una impresora de chorro de tinta en color se tratara para obtener un amplio espectro de colores.

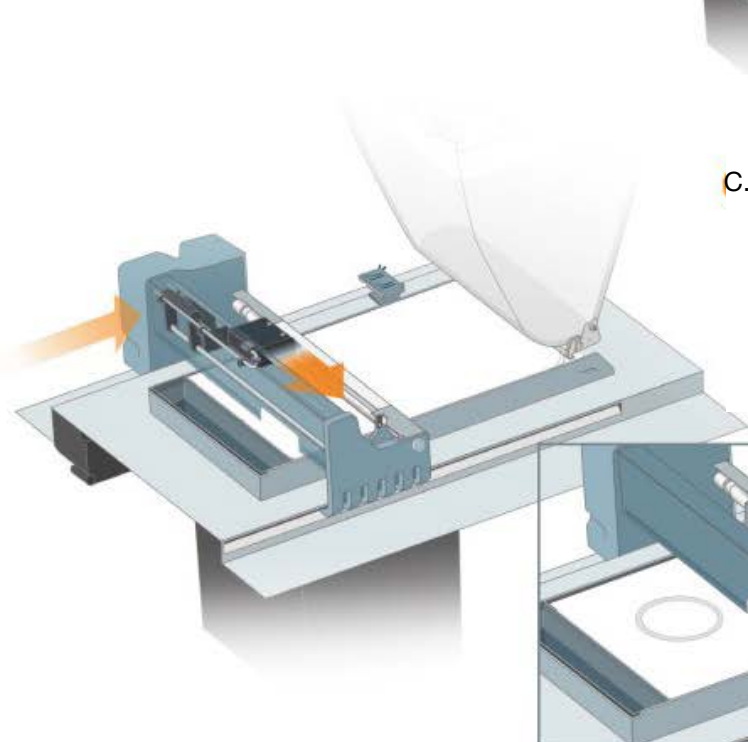
8.4.6 Proceso de impresión



A. Cuando el usuario hace clic en “3D print”, la ZPrinter calienta y rellena de material la cubeta de construcción y, si fuera necesario, alinea automáticamente los cabezales de impresión.



B. La ZPrinter comienza a crear el modelo esparciendo una capa de polvo composite



C. El cartucho de impresión se desplaza por esta capa, aplicando aglutinante (y las diferentes tintas en un modelo a color) según el patrón del primer corte transversal generado por ZPrint. Los pasos 3.2 y 3.3 se repiten hasta que el modelo se completa

El aglutinante solidifica el polvo en la sección del modelo, dejando el resto del polvo para su reciclaje.

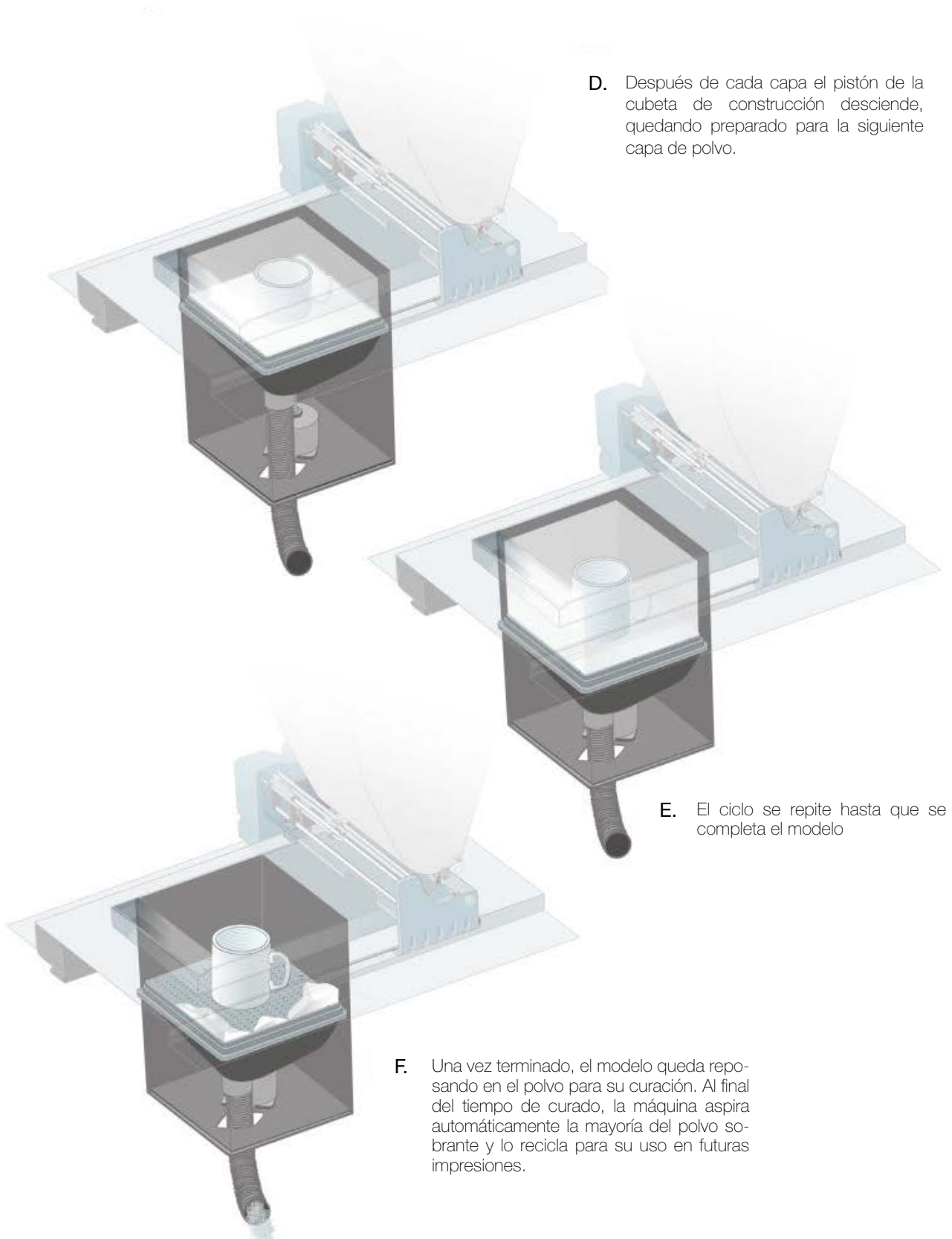
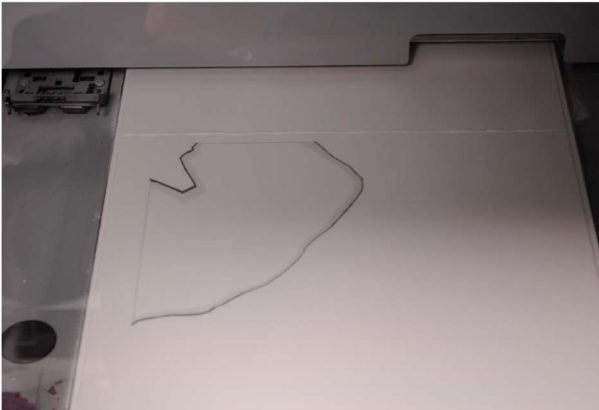
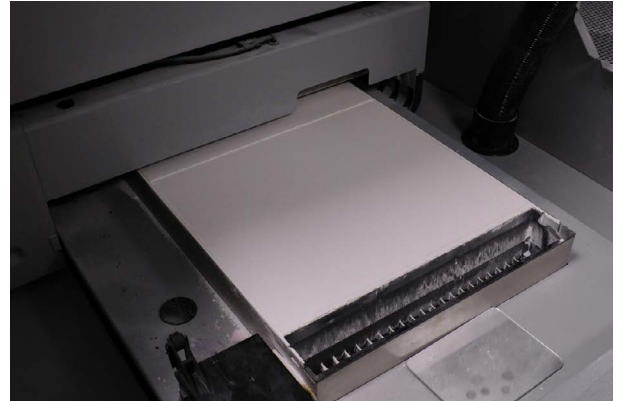


Fig.89: Infografía del proceso de impresión^[30]
Fuente: Cuaderno Divulgativo: sobre la Impresión 3D Pag. 8-9. Z-Corporation



a) Impresión por capas de la pieza

Como si de una impresora 2D doméstica se tratase, la Z-Printer va imprimiendo las secciones de la pieza -según los patrones generados por el software Z-print- sobre cada capa de composite, hasta completar el modelo.



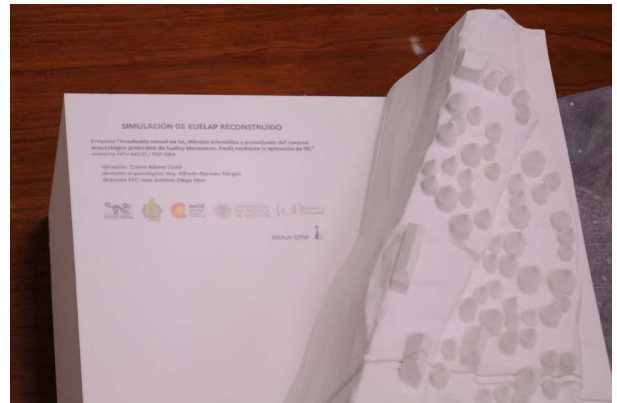
b) Curado

Tras completarse la pieza, es necesario un tiempo de curado para que esta adquiera resistencia y no se resquebraje. La pieza se encuentra en el interior, recubierta del polvo composite que no ha sido aglutinado.



c) Retirada del polvo composite sobrante

Una vez curada la pieza, la Z-Printer recupera automáticamente hasta el 80% del polvo composite sobrante mediante sistema de aspiración y vibración automático, y lo recicla para su utilización posterior. A continuación, se hace uso de un aspirador y por último, se utiliza aire comprimido para dejar la pieza completamente limpia de polvo.



d) Infiltrado

Finalmente, para otorgarle resistencia a la pieza y mejorar su acabado final, procedimos a realizar un infiltrado con cianoacrilato. Debido a problemas del proveedor, el Z-Bond que habíamos solicitado no pudo llegar a tiempo y tuvimos que buscar una solución alternativa, optando por otra marca comercial pero con la misma efectividad.

3.4.7 Resultados del prototipado



Fig.90: Prototipo completo de Ciudadela de Kuélap (Parte A) y su entorno (Parte B), formado por 20 módulos
Fuente: Elaboración propia



Fig.91: Detalle de la Parte B de la maqueta arqueológica
Fuente: elaboración propia

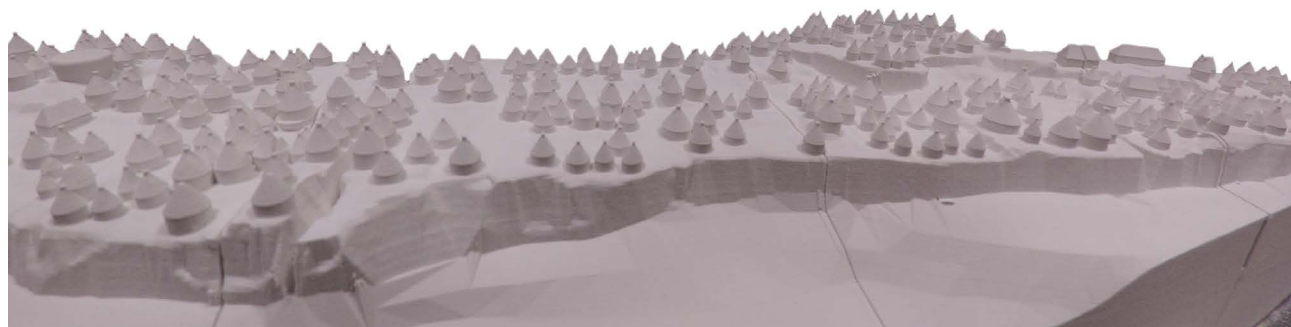


Fig.92: Vista general de la Parte A de la maqueta arqueológica
Fuente: elaboración propia

8.4.5 Resultados del prototipado

SIMULACIÓN DE KUELAP RECONSTRUIDO

Proyecto “Simulación virtual en 3d, difusión telemática y prototipado del conjunto arqueológico preincaico de Kuelap (Amazonas, Perú) mediante la aplicación de TIC” convenio UPV-AECID / PEK-GRA

ejecución: Esteve Ribera Torró

dirección arqueológica: Arq. Alfredo Narvaez Vargas

dirección PFC: Jose Antonio Diego Mas



Fig.93: Imagen con la información relativa a la Parte A de la maqueta arqueológica: “Simulación de Kuelap Reconstruido”
Fuente: Elaboración propia



Fig.94: Módulo K1 con la información correspondiente imprimida
Fuente: Elaboración propia



Fig.95: Imagen con la información relativa a la Parte B de la maqueta arqueológica: "Entorno Geográfico de Kuélap"
Fuente: Elaboración propia



Fig.96: Módulo D4 con la información correspondiente impresa
Fuente: Elaboración propia



Fig.97: Detalle de la Parte A donde se distingue el Templo Mayor y la Plataforma Circular.
Fuente: elaboración propia



Fig.98: Detalle de la Parte A. sector Sur
Fuente: elaboración propia



Fig.99: Detalle de la Parte A donde se distingue el Templo Mayor
Fuente: elaboración propia

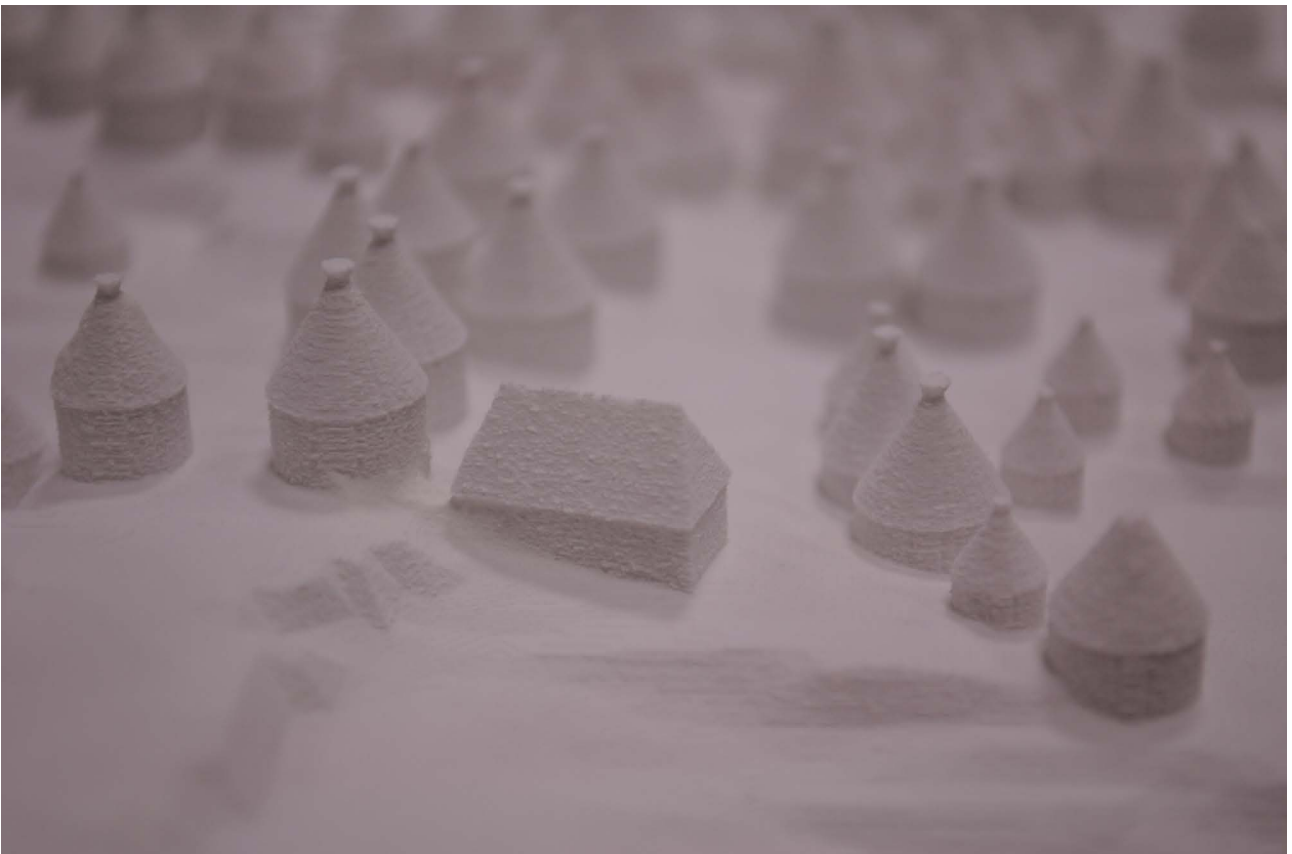


Fig.100: Detalle de la Parte A donde se distingue una estructura cuadrangular entre todas las estructuras circulares
Fuente: elaboración propia

9. VALORACIÓN DE LA EJECUCIÓN DEL PROYECTO. DESVIACIONES Y RECOMENDACIONES

9.1 Valoración global

9.1.1 Socio local y mecanismos de ejecución

En lo referente al socio local, cabe decir que se han cumplido todos los compromisos adquiridos, y que la relación establecida ha posibilitado un trabajo coordinado y sinérgico. El Gobierno Regional Amazonas (GRA) ha mostrado un gran interés en el proyecto y en su difusión telemática, además de hacer propios los resultados obtenidos, lo que garantiza una gestión adecuada del portal web y de la maqueta arqueológica en pro de los objetivos establecidos.

En la primera parte del proyecto, se trabajó estrechamente con la administración y el equipo de arqueólogos y conservadores del PEK (dependiente del GRA), que facilitaron toda la información arqueológica y topográfica necesaria y otorgaron un espacio en su oficina para el desarrollo de este proyecto. El principal contratiempo surgió con el cambio de Gobierno Regional y el fin de la actividad arqueológica en Kuélap por parte del PEK, que debilitaron la coordinación institucional. En este tiempo se hizo necesario un cambio de oficina, ya que la oficina donde se trabajaba cesó su actividad. Una vez establecido en nuevo Gobierno Regional, se retomaron las relaciones y se redactó un convenio marco de cooperación interinstitucional UPV-GRA y un convenio específico del proyecto, para formalizar los compromisos de ambas partes. El desarrollo del diseño y publicación del portal web se llevó a cabo con todo el apoyo institucional, y en especial cooperación del Departamento de Informática del GRA. Tras

la transferencia del portal web “kuelapvirtual.com”, la ejecución del proyecto se trasladó a España para realizar la última parte. En este sentido, toda la coordinación llevó a cabo con el director del PFC, el Dr. José Antonio Diego Mas. Se concluyó el modelo digital de Kuélap que luego sirvió para la fabricación de la maqueta arqueológica en el Departamento de Proyectos de Ingeniería de la UPV.

9.1.2 Nivel de participación de los colectivos afectados

Por tratarse de un proyecto de cooperación de carácter técnico, quienes más han participado en su desarrollo han sido los técnicos que de una u otra manera han estado vinculados a éste, además de la administración con la que se ha coordinado la intervención. El nivel de participación del PEK, especialmente a través de su equipo de técnicos (arqueólogos y conservadores) ha sido muy elevada, sobretodo en la primera parte del proyecto. También ha sido elevada la participación de los técnicos informáticos del Gobierno Regional Amazonas, que han colaborado en la publicación del portal web “kuelapvirtual.com”. En esta parte también se ha contado con la colaboración inestimable del arquitecto José Mercedes Fiestas Chévez, ex miembro del equipo técnico del PEK y experto en museografía y medios digitales. La participación de las administraciones locales ha sido de una intensidad y periodicidad menor, pero

no por ello menos significativa. Se han realizado todas las coordinaciones oportunas con el PEK y el GRA, y se ha transferido y publicado exitosamente el portal web “www.kuelapvirtual.com”, con garantías de futuro respecto a la sostenibilidad de la intervención. Por otra parte, cabe destacar la participación

masiva de la población beneficiaria a través de las visitas al portal web. Queda pendiente la transferencia de la maqueta arqueológica, prevista en el presente año. La maqueta será expuesta públicamente en Centro de Interpretación del mismo sitio de Kuélap, de modo que cualquier visitante pueda contemplarla.

9.1.3 Puntos fuertes y débiles en el desarrollo del proyecto

Puntos fuertes:

- Elevada implicación de los colectivos involucrados
- Acercamiento al uso de las TIC aplicadas a la promoción turística y distribución del conocimiento
- Uso de las últimas tecnologías en simulación 3D
- Uso de internet como medio internacional de distribución de la información
- Publicación exitosa del portal web “kuelapvirtual.com”
- Obtención de una maqueta arqueológica de Kuélap de grandes dimensiones para la exposición pública en el mismo Kuélap.
- Aumento continuo y progresivo del número de beneficiarios directos e indirectos gracias a la prolongada vida útil de los resultados obtenidos

Puntos débiles:

- Dificultad de acceso a la zona de intervención
- Demoras en la gestión de documentación (elaboración y suscripción de convenios, solicitud de visado, etc..) por parte de las administraciones locales
- Problemas burocráticos en la solicitud de modificación de las fechas de inicio y fin de la resolución
- Cambios en el personal administrativo como consecuencia del cambio de Gobierno Regional
- Denegación de la prórroga solicitada, que ha provocado un desajuste entre el tiempo de ejecución teórico y el real

9.1.4 ¿Qué se modificaría del proyecto inicial y/o de su ejecución?

Si pudiéramos comenzar de nuevo, en primer lugar modificaríamos el tiempo programado de ejecución. La ampliación del proyecto ha conllevado una enorme carga de trabajo en un lapso de tiempo muy ajustado, y ha provocado un desajuste entre los tiempos teóricos y reales de ejecución. Por otra parte, en el transcurso del proyecto se han establecido buenas relaciones con las principales instituciones y actores vinculados a la promoción del turismo sostenible y la gestión arqueológica. Si volviéramos a empezar trataríamos de involucrar en mayor medida a estos actores, especialmente a la Dirección Regional de Cultura y a la Dirección Regional de Comercio Exterior y Turismo (DIRCETUR), que comparten el mismo fin del proyecto.

9.2 Valoración de los criterios de evaluación: 9.2.1 Eficacia

El proyecto ha sido plenamente eficaz por haber logrado los resultados esperados. Tanto el portal web como la maqueta son dos medios de información de gran alcance, ya que una cantidad masiva de usuarios serán partícipes de estos. Por otra parte cabe señalar la rigurosidad de la información arqueológica y topográfica, obtenida a partir de las investigaciones realizadas por el PEK en los últimos años.

9.2.2 Eficiencia

Todos los resultados se han obtenido utilizando un mínimo de recursos, por lo que el nivel de eficiencia del proyecto ha sido muy elevado. Por el hecho de tratarse de un proyecto desarrollado mediante el uso de las TIC, cabe señalar que no han sido necesarias grandes inversiones, operaciones de riesgo o dificultad física, ni tampoco de grandes medios, pues se trata de un trabajo con una gran carga virtual; gran parte de la ejecución se ha desarrollado con la única herramienta de un ordenador portátil donde se ha procesado toda la información mediante programas informáticos. Por otra parte, el personal asociado al proyecto ha sido mínimo y el beneficiario ha realizado un trabajo íntegro ligado a todo el proceso; trabajo de campo, edición digital, publicación web, modelado 3d y fabricación de la maqueta.

9.2.3 Pertinencia

La pertinencia del proyecto a las necesidades de la población beneficiaria es evidente.

El proyecto converge con las directrices del desarrollo gubernamental del país y de la región, reflejadas en el Plan Estratégico Nacional de Turismo 2008 - 201 (PENTUR) y en el Plan de Desarrollo Turístico del Departamento de Amazonas, asimilando todos y cada uno de los objetivos general y estratégicos planteados en el PENTUR:

Objetivo general:

Alcanzar un turismo sostenible como herramienta de desarrollo económico, social y ambiental del Perú.

Objetivos estratégicos:

Objetivo 1: Promover la cultura turística y la seguridad para el visitante.

Objetivo 2: Desarrollar una oferta turística competitiva y sostenible.

Objetivo 3: Promover una demanda sostenida del turismo.

Objetivo 4: Fortalecer las capacidades de las instituciones vinculadas con la actividad

Por otra parte, es especialmente pertinente respecto al Plan de Desarrollo turístico del Dept. de Amazonas, en lo que atañe a fomento del turismo cultural y la puesta en valor del patrimonio arqueológico, como se manifiesta en su estrategia central de impulsar actividades y proyectos para la realización de un inventario de los recursos turísticos y su correspondiente puesta en valor, con el propósito es promover la mejora de los atractivos turísticos arqueológicos, naturales y vivenciales del Departamento; impulsando el desarrollo de acti

vidades en los actuales y potenciales recursos turísticos, para diversificar y consolidar la oferta con productos turísticos.

9.2.4 Impacto

En lo referente al impacto ambiental, la utilización de TIC permite la difusión, comunicación y transmisión de conocimiento de manera virtual, por lo que no se necesitan grandes medios materiales (tan solo medios técnicos), lo que conlleva un ahorro del impacto. Además, poner en valor el sitio de Kuélap contribuirá a sensibilizar sobre la necesidad de su protección y la de su entorno. Es difícil valorar el impacto económico del proyecto en la población local, ya que aún no ha transcurrido tiempo suficiente como para hacer una evaluación al respecto. No obstante, se espera que la página web y la maqueta tengan un papel significativo en la promoción turística de Kuélap, promoviendo de forma indirecta la economía local y contribuyendo a crear alternativas económicas a la actividad agro-pecuaria y a la minería (que tienen un coste ambiental elevadísimo)

9.3 Finalización y transferencia del Proyecto

9.3.1 Grado de sostenibilidad

El proyecto ha finalizado satisfactoriamente, logrando los resultados del portal web “kuelapvirtual.com” y de la “maqueta arqueológica de Kuélap”. La gestión del portal se transfirió al Gobierno Regional Amazonas en el mes de octubre del 2012. El acto de presentación oficial se realizó coincidiendo con el 179º aniversario de creación política del Departamento de Amazonas, aprovechando la atención de los medios de comunicación locales y estatales. El lanzamiento de la web fue un éxito, consiguiendo más de mil visitas en las primeras semanas. Por otra parte, la maqueta arqueológica se encuentra en estos momentos en la UPV, y será próximamente transferida al Gobierno Regional Amazonas. La implicación e interés manifiesto del GRA, así como el convenio establecido, garantiza la sostenibilidad a largo término del Proyecto.

9.3.2 Receptividad del socio local y de los beneficiarios

Como hemos mencionado antes, el Gobierno Regional Amazonas ha mostrado una implicación e interés manifiestos durante toda la ejecución del proyecto, que se ha materializado en el convenio de cooperación suscrito y en el apoyo recibido especialmente en la publicación de *kuelapvirtual.com*. Esto ha repercutido muy positivamente en el proyecto y asegura una buena gestión futura del portal web y de la maqueta arqueológica.

Por otra parte, la publicación de la web ha contado con una gran receptividad, ya que

en las primeras semanas tras su publicación recibió cientos de visitas. El portal cuenta, a fecha de 14 de mayo, con casi 10.000 visitas realizadas por usuarios de más de 30 países diferentes, en continuo aumento (ver anexo Google Analytics). En lo referente a la maqueta, se hace imposible hablar de la receptividad porque todavía no ha sido transferida.

9.3.3 Visibilidad

La visibilidad es un punto fuerte de este proyecto. Con pocos medios y un presupuesto reducido se han logrado unos resultados de un alcance enorme en lo referente a la visibilidad. El uso de internet permite el acceso al portal web a cualquier usuario desde cualquier punto del planeta, cosa que con los medios tradicionales de comunicación sería imposible. También, el carácter público de la maqueta, que quedará expuesta en el mismo yacimiento arqueológico de Kuélap permitirá que un número indefinido de usuarios sean partícipes de ella. En toda la actuación se ha tenido muy en cuenta la visibilidad de la participación de la AECID y del CCD-UPV. En este sentido, en el portal web se ha incorporado una sección de “créditos”, además de una presentación flash, donde se visualiza con claridad las entidades que han hecho posible el proyecto. Por otra parte, en la maqueta también se ha incorporado los logo del CCD-UPV y la AECID junto a la información técnica, título, escala y norte geográfico.

10. CONCLUSIONES PERSONALES

El trabajo que tiene en sus manos es el resultado de un largo e intrincado camino que se extiende en el espacio y el tiempo, y que ahora parece que ya toca su fin. El Proyecto que describen estas páginas lo iniciamos en octubre de 2010, en las lejanas tierras de los Andes Amazónicos del Perú, y ahora, dos años y ocho meses después, podemos decir que hemos visto cumplidas todas las metas y las aspiraciones planteadas inicialmente.

Ha sido muy enriquecedor vivir la experiencia de realizar un trabajo de estas características tanto a nivel humano como profesional. Con todo, no ha sido fácil y se nos hemos visto con numerosas dificultades, pero hemos sabido salir adelante hasta el final y nos sentimos enormemente recompensados por haber conseguido unos resultados tangibles y útiles en cuanto a la conservación y difusión de un patrimonio de valor incalculable como la Ciudadela de Kuelap. A mi parecer, una de las virtudes del proyecto es su vocación comunicativa, plasmada en el enorme alcance geográfico y demográfico que permite internet.

A nivel vital, el Proyecto me ha dado la posibilidad de conocer una realidad desconocida hasta el momento y que me era muy seductora, la realidad del continente sudamericano, y concretamente del Perú, con su inconmensurable riqueza y diversidad natural, arqueológica y social. El transcurso del proyecto también ha sido paralelo al transcurso de la vida, que me ha regalado las mejores experiencias y amistades que ya forman parte del mi ser, y especialmente y por encima de todo, la expe-

riencia vital de ser padre de mi hijo Biel Amaru, que nació el 17 de mayo de 2012.

Por otra parte, a nivel profesional el proyecto ha suponía un reto, lo que ha motivado una gran labor autodidacta que ha servido para mejorar profesionalmente en conocimientos, y capacidades en los campo de la arqueología virtual y el diseño.

Finalmente, lo que considero más relevante es haber alcanzado la meta de conseguir unos resultados con una gran integridad y rigor científico, en un proyecto pluridisciplinar que ha aplicado los conocimientos técnicos del diseño en un contexto arqueológico, y con un beneficio social y divulgativo.

11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. *Carta Internacional para la Gestión del Patrimonio Arqueológico* [en línea]. ICOMOS, 1990 <http://www.international.icomos.org/charters/arch_sp.pdf> [Consulta: 15/05/2013]
2. Acuerdo de sesión ordinaria de Consejo Regional Amazonas nº 019 del 07-10-09. Acuerdo nº 143-2009. Gobierno Regional Amazonas. PERU
3. LERCHE, P., WILTSIE, G. *Lost tombs of Peru*. National Geographic, September 2000
4. REILLY, P., 1990, *Towards a virtual archaeology*. Computer Applications in Archaeology 1990, Edited by K. Lock year and S. Rahtz. oxford: British Archaeological reports (Int. Series 565), 133-139
5. Principios de Sevilla. "*Principios Internacionales de la Arqueología Virtual. Borrador Final*". [en línea]. International Forum of Virtual Archaeology, 2011 <<http://www.arqueologiavirtual.com/carta/wp-content/uploads/2012/03/BORRADOR-FINAL-FINAL-DRAFT.pdf>> [Consulta: 15/05/2013]
6. *La Joya, los guerreros de la niebla. Documentales de la 2* [Video documental]. RTVE, emitido el 23 feb 2013
7. *Virtual Archeology Review*. [en línea] Sociedad Española de Arqueología Virtual. <<http://varjournal.es/inicio.html>> [Consulta: 15/01/2013]
8. Patrimonio Histórico de Castilla la Mancha. Zona Multimedia. [en línea]. España. Consejería de Cultura de Castilla la Mancha. <<http://www.patrimoniohistoricoclm.es/multimedia/>> [Consulta: 13/02/2013]
9. Cybermuseum.es [en línea]. Grupo de investigación Urbs, IUCA, Universidad de Zaragoza. <<http://www.cybermuseum.es/>> [Consulta: 20/05/2013]
10. *Taj Mahal, India · 360° Aerial Panorama* [en línea]. Airpano 2013. <<http://www.airpano.ru/files/Taj-Mahal-India/2-2>> [Consulta: 07/03/2013]
11. Wikipedia contributors, 'Photogrammetry' [en línea], Wikipedia, The Free Encyclopedia, 13 June 2013, 09:59 UTC, <<http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Photogrammetry&oldid=559699160>> [accessed 17 June 2012]
12. 3D Tiwanaku. [en línea] Photogrammetry Data and Projects. Center for Advanced Spatial Technologies (CAST) <<http://gmv.cast.uark.edu/photogrammetry/data/>> [Consulta: 01/03/2013]
13. MARAMBIO, A.; BIERE, R.M. *Patrimonio Cultural de Espanya*, 2010, vol. 4, p. 99-113.
14. CANO, P. [et al.] 2010. *Uso de escáner láser 3D para el registro del estado previo a la intervención de la Fuente de los Leones de La Alhambra*. . Virtual Archaeology Review. VAR. Volumen 1 Número 2. ISSN: 1989-9947.
15. *Villa Romana de La Olmeda* [en línea]. Balawat <www.balawat.com/olmeda/pgolmeda.html>
16. *Monastery of Dordrecht*. [aplicación interactiva] Paladín Studios, 2008.
17. *Manual Para la Elaboración de Panoramas Esféricos*. Viajesvirtuales.es, 2010

18. Big Ben's Panorama Tutorials. Determining the Nodal Point of a Lens. [en línea] Ben Kreunen 2000
<<http://archive.bigben.id.au/tutorials/360/photo/nodal.html>> [Consulta: 12/02/2013]
19. Tutorial Zero Noise. [en línea] Guillermo Luijk 2008.
<<http://www.guillermoluijk.com/tutorial/zeronoise/index.htm>>[13/04/2013]
20. Tutorial Mapeo de tonos HDR. [en línea] Guillermo Luijk 2008.
<<http://www.guillermoluijk.com/tutorial/hdr/index.htm>> [Consulta: 13/04/2013]
21. VR with Mode and Pano2VR [en línea] Vertextutor, posted on Monday, May 21st, 2012
<<http://www.vertextutor.com/vr-with-modo-and-pano2vr>> [Consulta: 29/04/2013]
22. Pano2VR - Tutorials. [en línea] Garden Gnome 2013. <<http://gardengnomesoftware.com/tutorial.php>>
[Consulta: 07/04/2012]
23. Guía para desarrolladores del API de Google Earth. [en línea] Google Developers. Última actualización: enero 30, 2013 <<https://developers.google.com/earth/documentation/?hl=es>> [Consulta: 23/05/2013]
24. Google Earth API - Demo Gallery. Google Developers. Last updated February 3, 2012
<<https://developers.google.com/earth/documentation/demogallery>> [Consulta: 15/01/2013]
25. A List Apart. Responsive Web Design. [en línea] Ethan Marcotte May 25, 2010 <<http://alistapart.com/article/responsive-web-design>> [Consulta: 22/02/2013]
26. Kuelapvirtual.com [en línea]. Esteve Ribera, 2011. <<http://www.kuelapvirtual.com>> [Consulta: 08/05/2013]
27. Reconstrucción pictórica de Kuelap. Muso de las Mórnias de Leymebamba. Amazonas. PERÚ
28. Mapa físico del distrito de Luya, Región Amazonas, PERU. E. 1:100 .000.
Instituto Geográfico Nacional (ING). PERU
29. Z-Printer 450 Hardware Manual Part Number 09570 Version 1.1. Z-Corporation,
30. Cuaderno Divulgativo sobre la Impresión 3D. Z-Corporation

II. PLIEGO DE CONDICIONES

“Simulación Virtual, difusión telemática y prototipado del conjunto arquitectónico y arqueológico preincaico de Kuélap (Amazonas, Perú) mediante T.I.C.”

PFC Ingeniería Técnica en Diseño Industrial

Autor: Esteve Ribera Torró

Director: José Antonio Diego Mas

Valencia, junio del 2013



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	104
2. CONDICIONES DE TIPO GENERAL	105
2.2 Partes contratantes	106
2.3. Normativa reguladora.	108
2.3.1 En relación con la AECID:	108
2.3.2 En relación con el PEK - GRA	109
3. CONDICIONES PARTICULARES	110
3.1 Mecanismos de ejecución y seguimiento	110
3.2 Plazos de ejecución y finalización.	111
3.3 Especificaciones técnicas	111
3.3.1 Del Portal Web	111
3.3.1 De la maqueta arqueológica	112
3.4 Condiciones de entrega	112
3.6 Tribunales competentes	112
3. CONDICIONES FINALES	113
3.1 Del Gobierno Regional Amazonas	113
3.2 De la Universitat Politècnica de València	113
3.3 Del Ejecutante	113

1. INTRODUCCIÓN

Dadas las singulares características del proyecto definido en este pliego de condiciones, es procedente mencionar algunos aspectos de vital importancia que de otra manera no serían tenidos en cuenta.

En los proyectos de obras y servicios, el pliego de condiciones es el documento contractual que regula las relaciones entre el propietario, -promotor del proyecto- y los contratistas que lo van a ejecutar, definiendo las especificaciones de ejecución, materiales, equipos, cobros, etc, que no pueden definirse en los planos y el presupuesto.

En nuestro caso, el proyecto en cuestión no es un proyecto de obras y servicios; se trata de un proyecto de Cooperación al Desarrollo financiado mediante la modalidad de subvención, por lo que presenta una serie de características particulares diferentes de las que presentan los proyectos donde se habitualmente se utilizan los pliegos de condiciones. En nuestro proyecto, no existen las figuras de propietario/contratista, que quedan relevadas por las figuras de financiadores/ejecutor/entidad contraparte. El financiamiento por subvención no implica relación laboral, por lo que no en este caso no existe contratación laboral de personal.

El proyecto tiene como financiadores a la Agencia Española de Cooperación Internacional al Desarrollo (AECID) y al Centro de Cooperación al Desarrollo de la Universitat Politècnica de València (CCD - UPV), y como entidad contraparte al Gobierno Regional Amazonas del Perú. La ejecución va a cargo una única persona física, Esteve Ribera Torró, quien pa-

ralelamente al Proyecto de Cooperación realiza su Proyecto Fin de Carrera.

Las condiciones generales del trabajo, así como los derechos, obligaciones y responsabilidades del ejecutor respecto a los financiadores y la entidad contraparte se han definido por otros mecanismos diferentes al del pliego de condiciones.

Por todos estos motivos, este pliego de condiciones se ha elaborado con posterioridad a la ejecución del proyecto, tratando de sintetizar todos los documentos vinculados al Proyecto que de una u otra manera han realizado las funciones atribuidas al clásico pliego de condiciones.

2. CONDICIONES DE TIPO GENERAL

2.1 Objeto

El objeto del presente pliego de condiciones es fijar las especificaciones que debe cumplir el proyecto *“Simulación Virtual, difusión telemática y prototipado del conjunto arquitectónico y arqueológico preincaico de Kuélap (en adelante Proyecto)”* y las obligaciones y compromisos establecidos por las partes implicadas en este. El proyecto está concebido como un Proyecto de Cooperación Internacional al Desarrollo, donde colaboran la UPV y la AECID con el Proyecto Especial Kuélap (Gobierno Regional Amazonas), y por tanto deberá cumplir con las exigencias que cada uno de estos organismos plantea.

En relación con la Entidad Contraparte, el Proyecto *“Simulación Virtual, difusión telemática y prototipado del conjunto arquitectónico y arqueológico preincaico de Kuélap”* complementa las acciones del proyecto *“Consolidación y Acondicionamiento Turístico de las Áreas de Emergencia en la Fortaleza de Kuélap, Sector Muralla Sur”* que ejecuta el Gobierno Regional Amazonas a través del Proyecto Especial Kuélap, con el objetivo de fomentar el desarrollo territorial de la zona mediante el fomento y valoración del patrimonio cultural, natural, arqueológico, y arquitectónico, que sirva para incentivar el turismo cultural sostenible, compatible con la realidad social de la población local y como alternativa económica a la minería y la actividad agropecuaria.

El Proyecto será ejecutado por el beneficiario de las ayudas concedidas y alumno PFC de la Universitat Politècnica de València, Esteve Ribera Torró, cuyos resultados serán transferidos al GRA una vez concluida la intervención.

La ejecución y resultados del proyecto deberán atenerse a las bases establecidas en cada una de las convocatorias mediante las que ha sido financiado;

Convocatoria Abierta Permanente 2010 de la AECID (Ministerio de Asuntos Exteriores y Cooperación),

Programa de Cooperación al Desarrollo 2010 del Centro de Cooperación al Desarrollo (CCD) de la UPV,

además de cumplir con lo establecido en el *Convenio de Cooperación Interinstitucional Universidad Politécnica de Valencia – Gobierno Regional Amazonas, en relación al Proyecto “Realización de una simulación virtual en 3d, difusión telemática y prototipado 3d del conjunto arquitectónico y arqueológico preincaico de kuélap mediante la aplicación de TIC”*.

2.2 Partes contratantes

El GOBIERNO REGIONAL se enmarca dentro de la Ley Nº 27783, Ley de Bases de la Descentralización y de la Ley Nº 27867, Ley Orgánica de Gobiernos Regionales. Tiene como finalidad esencial fomentar el desarrollo regional integral sostenible, promoviendo la inversión pública, privada y el empleo, y garantizar el ejercicio pleno de los derechos y la igualdad de oportunidades de sus habitantes, de acuerdo con los planes y programas nacionales, regionales y locales de desarrollo. Entre sus funciones está comprendido el desarrollo de la actividad turística.

El GOBIERNO REGIONAL, en virtud al convenio suscrito con MINCETUR – Plan COPESCO Nacional, ha desarrollado 06 etapas de intervención en la Fortaleza de Kuélap, orientando sus acciones hacia fines de investigación arqueológica, conservación arquitectónica y desarrollo turístico, desde el año 2004.

El GOBIERNO REGIONAL, ha visto por conveniente ejecutar el proyecto "Consolidación y Acondicionamiento Turístico de las Áreas de Emergencia en la Fortaleza de Kuélap. Sector Muralla Sur" a través del Proyecto Especial Kuélap, en el marco del Convenio Específico de Cooperación Interinstitucional con el Plan COPESCO Nacional Nro 18-2008- MINCETUR-COPESCO/DE.

La UPV es una entidad de Derecho Público con personalidad jurídica propia, que desarrolla actividades de docencia, investigación y desarrollo científico, interesada en colaborar con las instituciones públicas y privadas nacionales e internacionales para asegurar la mejor formación de sus estudiantes y titulados y el desarrollo de sus Proyectos Fin de Carrera, la investigación y a la Cooperación Internacional. El Plan Estratégico UPV 2007/2014 establece que es misión de la UPV la formación integral de los estudiantes, a través de la creación, desarrollo, transmisión y crítica de la ciencia, de la técnica del arte y de la cultura, desde el respeto a los principios éticos, con una decidida orientación a la consecución de un empleo acorde con su nivel de estudios. Dentro de las acciones del Plan Estratégico de Formación Complementaria se incluye el propiciar los proyectos fin de carrera con tutores de institución, con el objetivo de acercar al estudiante a la realidad profesional futura, de ampliar su formación y de estrechar las relaciones con la institución colaboradora.

El CCD es el área de la Universidad Politécnica de Valencia encargada de fomentar y catalizar actitudes solidarias en la Comunidad Universitaria. Su misión es la puesta en práctica de estrategias de cooperación al desarrollo en la universidad a través de la docencia, la investigación y la extensión universitaria. Promoviendo el compromiso solidario de la Universidad con el fin último de alcanzar un Desarrollo Humano Sostenible

El EJECUTANTE, Esteve Ribera Torró, alumno PFC de la Universitat Politècnica de València en la titulación de Ingeniería en Diseño industrial, es beneficiario de la Convocatoria Abierta Permanente de la AECID y del Programa de Cooperación al Desarrollo 2010 del CCD para el proyecto *“Simulación Virtual, difusión telemática y prototipado del conjunto arquitectónico y arqueológico preincaico de Kuelap (Amazonas Perú)”*, que ejecutará paralelamente a su Proyecto Fin de Carrera.

Con fecha de Enero de 2011, la Universitat Politècnica y el Gobierno Regional Amazonas suscribieron el **Convenio Marco de Cooperación Interinstitucional UPV-GRA** con el objeto de “estrechar sus relaciones, aunar esfuerzos y establecer normas amplias de actuación que encaucen e incrementen, dentro de un marco preestablecido, los contactos y colaboraciones de acuerdo”

Conforme a la cláusula segunda de dicho acuerdo, se contempla la modalidad de “Ejecución de proyectos y programas de investigación y desarrollo, a realizar en los Departamentos e Institutos de la UPV y/o GRA”, donde se inscribe el Proyecto al que hace referencia este pliego de condiciones.

2.3. Normativa reguladora.

2.3.1 En relación con la AECID:

Las normas generales, que constituyen la guía básica y que contienen las reglas a las que deberá atenerse el proyecto para su justificación económica y técnica, con motivo de la realización de proyectos de cooperación subvencionados por la AECID, son:

Resolución de 31 de enero de 2011, de la Presidencia de la Agencia Española de Cooperación Internacional para el Desarrollo, por la que se publican las ayudas de convocatoria abierta y permanente correspondientes al año 2010 (entre las que se encuentra la ayuda al proyecto "Simulación Virtual en 3D, difusión telemática y prototipado 3D del conjunto arquitectónico y arqueológico preincaico de Kuélap (Amazonas, Perú) mediante la aplicación de TIC" (Disposición 4169 del B.O.E. núm. 55 de 5/03/2011)

Resolución 31/03/2008, por la que se aprueban las normas de justificación de las subvenciones de convocatoria abierta y permanente para actividades de cooperación y ayuda al desarrollo (B.O.E. núm. 96 de 21.04.08)

Ley 38/2003, de 17 de noviembre, General de Subvenciones.

Real Decreto 887/2006, de 21 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de la Ley 38/2003, de 17 de noviembre, General de Subvenciones.

Orden AEC/442/2007, de 23 de enero, por la que se establecen las bases reguladoras de

la concesión de subvenciones de la convocatoria abierta y permanente para actividades de cooperación y ayuda al desarrollo.

Ley 30/1992, de 26 de noviembre, de Régimen Jurídico de las administraciones Públicas y del Procedimiento Administrativo Común.

2.3.2 En relación con el PEK - GRA

El proyecto “Simulación virtual, difusión telemática y prototipado del sitio arqueológico de Kuélap” servirá para complementar la intervención del Proyecto “Consolidación y Acondicionamiento Turístico de las Áreas de Emergencia en la Fortaleza de Kuélap, Sector Muralla Sur” que ejecuta el Gobierno Regional Amazonas a través del Proyecto Especial Kuélap.

Ley N° 27867, Ley Orgánica de Gobiernos Regionales

Ley N° 27444, Ley del Procedimiento Administrativo General

Ley N° 28411, Ley General del Sistema Nacional de Presupuesto

Ley N° 27889, Ley que crea el Fondo y el Impuesto Extraordinario para la Promoción y el Desarrollo Turístico Nacional.

Ley N° 29465, Ley de Presupuesto del Sector Público para el año fiscal 2010.

Decreto Legislativo N° 719, Ley de Cooperación Técnica Internacional

Reglamento del Decreto Legislativo N° 719 - Decreto Supremo N° 015-92-PCM (30.01.1992)

3 CONDICIONES PARTICULARES

3.1 Mecanismos de ejecución y seguimiento

La coordinación interinstitucional estará a cargo del Presidente Regional, delegando tales funciones de ejecución al Director Ejecutivo del Proyecto Especial Kuélap, el Sr. Leonardo Rojas -o en su defecto la persona que lo sustituya en el cargo-, y/o el Ing. Edgar Ramírez Villa, Coordinador General del Proyecto: "Consolidación y Acondicionamiento turístico de las Áreas de Emergencia en la Fortaleza de Kuélap, sector Muralla Sur" -o en su defecto la persona que lo sustituya en el cargo- para el caso del GOBIERNO REGIONAL; y del Sr. Esteve Ribera Torró, en el caso de la UPV, para lo cual llevarán a cabo reuniones de trabajo en las oportunidades que sean necesarias para asegurar el cumplimiento de los términos del Convenio y de los acuerdos tomados por éste. La designación de representantes deberá ser comunicada luego de la suscripción del presente convenio. Cualquier reemplazo de la persona designada deberá ser de conocimiento por escrito a la otra parte.

El desarrollo del proyecto será tutelado y supervisado por el Director de las excavaciones arqueológicas en Kuélap, el Arqueólogo Luis Alfredo Narváez Vargas, a través de procedimientos externos a los empleados por el PEK.

Por otra parte, la ejecución material del Proyecto irá a cargo del Sr. Esteve Ribera, beneficiario de la ayudas al desarrollo concedidas por la AECID y el CCD-UPV mediante la Convocatoria Abierta Permanente 2010 y el Programa de Cooperación al Desarrollo 2010

respectivamente.

El Proyecto de Cooperación servirá como base para el Proyecto Fin de Carrera -de la titulación de Diseño Industrial- de su ejecutor, teniendo como director y tutor al Ing. José Antonio Diego Mas. Cualquier consulta, controversia o efecto de carácter legal que resulte de la administración de los recursos de la cooperación externa deberá ser respondido por el Sr. Esteve Ribera.

3.2 Plazos de ejecución y finalización.

Las fechas de inicio y finalización del proyecto serán las establecidas en la resolución de concesión de subvención o en su caso en la de prórroga. La duración máxima del periodo de ejecución es de dieciocho meses.

FASE 1: octubre 2010-mayo 2011

Investigación, catalogación y simulación:
Construcción de un modelo virtual del conjunto arquitectónico

FASE 2: junio 2011- noviembre 2011

Puesta en valor, comunicación y difusión:
Renderizado y trabajo gráfico-audiovisual a partir del modelo construido. Diseño web con visita virtual de Kuélap.

FASE 3: diciembre 2011 – enero 2012

Aplicación de nuevas tecnologías para la fabricación de maquetas arqueológicas destinadas a la exposición pública. Prototipado en Impresora 3D.

3.3 Especificaciones técnicas

3.3.1 Del Portal Web

1. El Portal tendrá como dominio web principal la dirección <http://www.kuelapvirtual.com>

2. El Portal contará con las siguientes secciones y subsecciones accesibles desde el menú principal:

- Presentación
- Visita Virtual
 - Kuélap s.XI
 - Kuélap s. XXI
- Vuelo de Pájaro
 - Kuélap de cerca
 - Kuélap de Lejos
 - Perú- Amazonas
 - Vista espacial
- Créditos

3. La visita virtual (Kuélap s. XXI) estará compuesta por 19 panoramas esféricos interactivos.

4. El vuelo de Pájaro consistirá en una aplicación interactiva desarrollada mediante el API de Google Earth, para la ubicación y exploración geográfica de Kuélap.

3.3.1 De la maqueta arqueológica

1. La maqueta estará compuesta por 20 módulos de 200 x 240 mm cada uno, contando con unas dimensiones totales de 1,20 x 0,8 metros.

2. La maqueta se dividirá en dos partes:
La parte A, de 4 módulos, mostrará la Ciudadela de Kuélap a escala 1:750 y será monocromática.

La parte B, de 18 módulos, mostrará el entorno geográfico a kuélap a escala 1:17500 y estará impresa a todo color.

3. Ambas partes contarán con una pequeña placa donde se detallen las características técnicas (escala, norte geográfico), así como el título del proyecto, responsables y financiadores.

3.4 Condiciones de entrega

Los resultados del proyecto serán transferidos al Gobierno Regional Amazonas una vez concluida la intervención. El GRA se responsabilizará a partir de ese momento de su correcta gestión y difusión.

Los archivos que conforman el portal web serán entregados vía usb o CD al Departamento de Informática del GRA para que este se encargue de su publicación en el servidor.

Posteriormente a la transferencia del portal web, se concretará una fecha para su lanzamiento público mediante una rueda de prensa.

La maqueta deberá ser trasladada al Perú

para hacer efectiva su transferencia al GRA. El traslado se deberá efectuar antes de finalizar el año 2013. Los costes del envío irán a cargo del GOBIERNO REGIONAL, quien a partir del momento de la transferencia se compromete a exhibirla públicamente.

3.5 Propiedad de la información

La información o conocimiento que se genere en el marco de los trabajos realizados con la ejecución de este convenio, al momento de su publicación o mención deberá consignar al Convenio "Gobierno Regional Amazonas-Universidad Politécnica de Valencia" y deberá también hacer mención expresa al Centro de Cooperación al Desarrollo de la UPV y a la Agencia Española de Cooperación Internacional y Desarrollo. Los productos resultantes de la acción serán transferidos al Gobierno Regional, una vez concluido el proyecto, concediendo a este el derecho a su libre difusión y explotación bajo licencia de Creative Commons. El Sr. Esteve Ribera mantendrá la propiedad intelectual como autor del proyecto.

3.6 Tribunales competentes

La Entidad Contraparte -Gobierno Regional Amazonas- y el Ejecutante -Esteve Ribera Torró- se comprometen a resolver de manera amistosa cualquier desacuerdo que pueda surgir en el desarrollo del Proyecto.

En caso de conflicto ambas partes acuerdan el sometimiento a los Tribunales de Valencia, con renuncia a su propio fuero.

3. CONDICIONES FINALES

3.1 Del Gobierno Regional Amazonas

El Gobierno Regional Amazonas, en relación al Proyecto, se compromete a:

- 1) Otorgar las facilidades que estén a su alcance, respecto del uso instalaciones, uso de equipamiento –escáneres, impresoras, etc.-,.
- 2) Facilitar acceso a la información topográfica, arqueológica y toda aquella relacionada con el Proyecto Especial Kuélap.
- 3) Facilitar la movilidad desde Chachapoyas hasta la fortaleza de Kuélap en el marco del Proyecto “Consolidación y Acondicionamiento turístico de las Áreas de Emergencia en la Fortaleza de Kuélap, sector Muralla Sur”.
- 4) Otorgar un dominio y alojamiento web (con sus respectivos permisos de acceso) para la exposición de los resultados. Una vez finalizado el proyecto, la gestión de estos quedará a disposición del Gobierno Regional.
- 5) Costear el envío del prototipo 3d (maqueta arqueológica de Kuélap) de España a Perú, para ser transferida al GOBIERNO REGIONAL, quien pasará a ser propietario de esta, con el compromiso de exponerla públicamente y hacer un buen uso.
- 6) Solicitar al Ministerio de Relaciones Exteriores la expedición de la visa oficial para el ejecutor y responsable del Proyecto, que permita desarrollar sus funciones con su situación migratoria regularizada.
- 7) Promocionar y gestionar adecuadamente los resultados transferidos

3.2 De la Universitat Politècnica de València

La Universitat Politècnica de València, en relación al Proyecto, se compromete a:

- 1) Ceder el uso de las instalaciones y equipamiento del Departamento de Proyectos de Ingeniería , concretamente en lo relativo al uso de la impresora 3D Z-printer 450, con el objetivo de fabricar la maqueta arqueológica contemplada en el presente pliego de condiciones, bajo la tutela del Sr. Diego Mas -director del PFC en cuestión y secretario del Departamento de Proyectos de Ingeniería de la UPV-.

3.3 Del Ejecutante

El Ejecutor Esteve Ribera Torró, en relación al Proyecto al que hace referencia este pliego de condiciones, se compromete a:

- 1) Utilizar el presupuesto otorgado por CCD y la AECID, según las bases reguladoras establecidas en el Programa de Cooperación al Desarrollo 2010 y la Convocatoria Abierta Permanente respectivamente, para alcanzar los objetivos y resultados planteados en el Proyecto.
- 2) Transferir al GOBIERNO REGIONAL los resultados del proyecto una vez concluida la intervención, los cuales se enumeran a continuación:
 - a) Una página web donde se exponga el trabajo realizado, con una visita virtual de Kuélap.
 - b) Una maqueta arqueológica destinada a la exposición pública.

III. PLANOS

PFC Ingeniería Técnica en Diseño Industrial

Autor: Esteve Ribera Torró

Director: José Antonio Diego Mas

Valencia, junio del 2013



ÍNDICE

IV. PLANOS

1. PLANTA TOPOGRÁFICA DE LA CIUDADELA DE KUÉLAP
2. SECCIONES D-D', E-E', F-F', G-G'
3. SECCIONES H-H', I-I', J-J', K-K'
4. ALZADOS PUEBLO ALTO - SECCIÓN B-B'
5. ALZADOS MURALLA PRINCIPAL - SECCIÓN A-A'

IV. PRESUPUESTO

“Simulación Virtual, difusión telemática y prototipado del conjunto arquitectónico y arqueológico preincaico de Kuelap (Amazonas, Perú) mediante T.I.C.”

PFC Ingeniería Técnica en Diseño Industrial

Autor: Esteve Ribera Torró

Director: José Antonio Diego Mas

Valencia, junio del 2013



ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	156
2. PRESUPUESTO PORTAL WEB	157
2.1 COSTES DIRECTOS CORRIENTES	157
2.1.1 Costes de mano de obra	157
2.2 COSTES DIRECTOS DE INVERSIÓN	160
2.2.1 Equipos y materiales inventariables	160
2.1.2 Licencias de software	161
2.2.3 Costes directos de inversion totales	162
2.3 COSTES DIRECTOS TOTALES	162
2.4 COSTES INDIRECTOS	163
2.5 PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL (PEM)	163
2.5 PRESUPUESTO TOTAL PORTAL WEB	164
3. PRESUPUESTO MAQUETA ARQUEOLÓGICA	165
3.1 COSTES DIRECTOS CORRIENTES	165
3.1.1 Costes de mano de obra	165
3.1.2 Materiales y suministros no inventariables	167
3.1.3 Costes directos corrientes totales	168
3.2 COSTES DIRECTOS DE INVERSIÓN	169
3.2.2 Licencias de software	169
3.2.3 Costes directos de inversión totales	169
3.4 COSTES INDIRECTOS	170
3.5 PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL (PEM)	171
4. PRESUPUESTO TOTAL ABSOLUTO	171

1. INTRODUCCIÓN

El presupuesto que tenemos delante se trata de un presupuesto hipotético, es decir, que no ha sido utilizado en la práctica. El objetivo que persigue es el de estimar los costes reales del Proyecto como si de un trabajo profesional se tratase, calculando pormenorizadamente todos los costes directos e indirectos.

El proyecto al que hace referencia el presente documento se trata en realidad de un Proyecto de Cooperación al Desarrollo financiado mediante subvenciones, donde los presupuestos utilizados no se ajustaban a la estructura y conceptos propios de un presupuesto profesional, y por este motivo se planteaba la necesidad de elaborar un presupuesto más adecuado para el PFC. Entre otras cosas, los presupuestos originales utilizados en relación a la Convocatoria Abierta Permanente de la AECID y el Programa de Cooperación al Desarrollo 2010 del CCD-UPV no contemplaban ninguna partida dedicada a mano de obra o personal, y la mayor parte del presupuesto iba destinado a cubrir costes de mantenimiento y desplazamientos España - Perú, por lo que nos pareció oportuno elaborar un nuevo presupuesto (el presente) donde se tuvieran en cuenta todos estos elementos.

El proyecto real ha sido ejecutado por una sola persona. No obstante, el trabajo realizado ha sido pluridisciplinar y ha contemplado tareas propias de diferentes campos de conocimiento y áreas profesionales. Por este motivo, el presente presupuesto plantea una situación óptima donde la mano de obra va

a cargo de un equipo de tres profesionales: fotógrafo, diseñador y programador.

Tras hacer un pequeño estudio de mercado para estimar el precio por hora asignado a cada profesional, tomando como referencia proyectos relacionados estrechamente con el presente, hemos determinado los siguientes valores:

Fotógrafo: 37,53 €/h

Diseñador: 32,68 €/h

Programador: 30,30 €/h

Cabe mencionar que los honorarios de estas tres especialidades profesionales no están reguladas por ningún colegio profesional ya que por el momento no existen dichos colegios.

Por otra parte, los resultados del Proyecto son dos productos bien diferenciados y con características propias: un portal web y una maqueta arqueológica. Por este motivo, el presupuesto para estos dos productos se ha calculado de manera independiente, elaborando en realidad dos presupuestos por separado y calculando, en último término, la suma de estos para conocer el valor total.

2. PRESUPUESTO PORTAL WEB

2.1 COSTES DIRECTOS CORRIENTES

2.1.1 Costes de mano de obra

CUADRO 1:

Subproducto: VISITA VIRTUAL INTERACTIVA

Mano de obra directa	Operación	Tiempo / unidad	Nº unidades	Tiempo empleado	euro/hora	precio parcial
fotógrafo	captura fotográfica panorámica HDR (19 p)	0,6 h/pano	19	11,4 h	37,53 €/h	427,842 €
fotógrafo	fusión HDR	0,4 h/pano	19	7,6 h	37,53 €/h	285,228 €
fotógrafo	costura fotográfica	0,4 h/pano	19	7,6 h	37,53 €/h	285,228 €
fotógrafo	edición y retoque fotográfico	0,35 h/pano	19	6,65 h	37,53 €/h	249,5745 €
diseñador	diseño gráfico de botones interactivos			10 h	32,68 €/h	326,8 €
programador	interfaz gráfica de usuario			14 h	30,30 €/h	424,2 €
programador	creación de SWF interactivo			2 h	30,30 €/h	60,6 €
TOTAL:						2059,47 €

CUADRO 2:

Subproducto: APLICACIÓN INTERACTIVA API-GOOGLE EARTH

Mano de obra directa	Operación	Tiempo empleado	euro/hora	precio parcial
programador	creación de capas KML	3 h	30,30 €/h	90,9 €
programador	programación javascript - API G.E.	24 h	30,30 €/h	727,2 €
programador	menú CSS de la aplicación	0,6 h	30,30 €/h	18,18 €
SUBTOTAL:				836,28 €

CUADRO 3:

Subproducto: ANIMACIÓN SWF

Mano de obra directa	Pasos de la operación	Tiempo empleado	euro/hora	precio parcial
diseñador	desenvolupament de animación en Flash	4h	32,68 €/h	130,72 €
SUBTOTAL:				130,72 €

CUADRO 4:

Subproducto: WEB

Mano de obra directa	Operación	Tiempo empleado	euro/hora	precio parcial
diseñador	diseño de imagen corporativa	18 h	32,68 €/h	588,24 €
diseñador	maquetación	16 h	32,68 €/h	522,88 €
programador	introducción de contenidos (5 pag)	5 h	30,30 €/h	151,5 €
programador	menu css horizontal	1,3 h	30,30 €/h	39,39 €
programador	aplicación control de sonido	3 h	30,30 €/h	90,9 €
programador	diseño web responsivo	15 h	30,30 €/h	454,5 €
SUBTOTAL:				1847,41 €

CUADRO COSTES TOTALES DE MANO DE OBRA DEL PORTAL WEB

producto	precio
VISITA VIRTUAL INTERACTIVA	2059,47 €
APLICACIÓN INTERACTIVA API-GOOGLE EARTH	836,28 €
ANIMACIÓN SWF	130,72 €
WEB	1847,41 €
TOTAL:	4873,88 €

2.2 COSTES DIRECTOS DE INVERSIÓN

2.2.1 Equipos y materiales inventariables

Equipo fotográfico

empresa	producto	precio
B&H photo-video	Trípode Manfrotto	374 €
Nodal Ninja	Cabezal Nodal Ninja 3 MKII	118,5 €
Nodal Ninja	RD16 rotador	158,00 €
Nodal Ninja	Anillo para Objetivo Nikkor 10,5mm	102,70 €
Nodal Ninja	Accesorio para Nadir	39,5 €
Nodal Ninja	Nivelador	78,00 €
B&H photo-video	Brazo horizontal para trípode	63,2 €
B&H photo-video	Cuerpo Nikon D300s	1.185,00 €
B&H photo-video	Adaptador horizontal en “L” para D300s	102,70 €
B&H photo-video	Objetivo Ojo de Pez Nikkor 10,5mm	522 €
B&H photo-video	Cable disparador	8,00 €
TOTAL:		2.649 €

Equipo informático

empresa	producto	precio
FNAC	ordenador portatil HP Pavillion DV6	900,16 €
Infoline Solutions	disco duro externo lomega 1TB	101,60 €
TOTAL:		1001,76 €

2.1.2 Licencias de software

Software

empresa	producto	Precio
Adobe	Licencia Adobe Creative Suite CS5 Design Premium	1.519 €
Garden Gnome	Licencia Pano2vr Pro	249 €
Krpano.com	Licencia Krpano	90 €
Krpano.com	Krpano HTML5 / iPhone / iPad Add-On License	39 €
Tawbaware	Tufuse	0 €
Guillermo Luijk	ZeroNoise	0 €
New House Internet Services	PTGui	149 €
TOTAL:		2046 €

2.2.3 Costes directos de inversión totales

Para encontrar el coste real imputable al presupuesto aplicaremos el método de estimación directa simplificada, utilizando los coeficientes que aparecen en la Tabla de Amortización Simplificada publicada por la Agencia Tributaria.

El coeficiente de amortización anual para equipos para tratamiento de la información y sistemas y programas informáticos es del 26%. Estimando que el presupuesto supone el 20% de la facturación anual, resulta un coeficiente de amortización final del 5,2%.

CUADRO COSTES DIRECTOS DE INVERSIÓN TOTALES DEL PORTAL WEB

concepto	precio total	coeficiente de amortización	gastos imputables
Equipo fotográfico	2.649,00 €	5,2%	137,75 €
Equipo informático	1001,76 €	5,2%	52,091 €
Software	2046,00 €	5,2%	106,392 €
TOTAL:			296,23 €

2.3 COSTES DIRECTOS TOTALES

CUADRO COSTES DIRECTOS TOTALES PORTAL WEB

concepto	precio
COSTES DIRECTOS CORRIENTES PORTAL WEB	4873,88 €
COSTES DIRECTOS DE INVERSIÓN PORTAL WEB	284,84 €
TOTAL:	5.158,72 €

2.4 COSTES INDIRECTOS

Los Costes Indirectos hacen referencia a aquellos necesarios para la ejecución del proyecto pero que no son atribuibles a ninguna unidad específica de trabajo, y se estiman en un porcentaje de los Costes Directos.

COSTES DIRECTOS = 5.158,72 €

concepto	% de Costes Directos	coste total
Investigación y puesta en marcha del proyecto	4%	206,04 €
Gastos administrativos	4%	206,04 €
Transporte hasta la Ciudadela de Kuelap	2%	103,02 €
TOTAL:		515,01 €

2.5 PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL (PEM)

descripción	precio
COSTES DIRECTOS CORRIENTES PORTAL WEB	4873,88 €
COSTES DIRECTOS DE INVERSIÓN PORTAL WEB	284,84 €
COSTES INDIRECTOS PORTAL WEB	515,01 €
TOTAL:	5673,73 €

2.5 PRESUPUESTO TOTAL PORTAL WEB

PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL (PEM)	5673,73 €
Gastos generales (10%)	567,37 €
Beneficio Industrial (11%)	624,11 €
SUBTOTAL	6865,21
IVA (21%)	250,21 €

PRESUPUESTO TOTAL:	7115,42
---------------------------	----------------

3. PRESUPUESTO MAQUETA ARQUEOLÓGICA

3.1 COSTES DIRECTOS CORRIENTES

3.1.1 Costes de mano de obra

CUADRO 1:

Subproducto: MODELO 3D

Mano de obra directa	Operación	Tiempo empleado	euro/hora	precio parcial
diseñador	desenvolupament de geometria 3D - Kuelap	34 h	32,68 €/h	1111,12
diseñador	generación de estructuras reconstruidas	4 h	32,68 €/h	130,72
diseñador	importación de geometría 3D - Entorno	0,72 h	32,68 €/h	23,5296
diseñador	obtención de ortofoto en alta definición	0,12 h	32,68 €/h	3,9216
diseñador	importación de toponimia desde mapa	0,65 h	32,68 €/h	21,242
diseñador	generación de módulos .ZPR imprimibles	3 h	32,68 €/h	98,04
TOTAL:				1388,57 €

CUADRO 2:

Subproducto: PROTOTIPO

Mano de obra directa	Operación	Tiempo /unidad	Nº unidades	Tiempo empleado	euro/hora	precio parcial
diseñador	puesta a punto de la impresora	0,40 h	20 mod.	0,5 h	32,68 €/h	16,34 €
diseñador	simulación de impresión - comprobación de errores	0,25 h	20 mod.	0,25 h	32,68 €/h	8,17 €
diseñador	envío de las piezas para su impresión	0,05 h	20 mod.	0,05 h	32,68 €/h	1,634 €
máquina Z-Printer 450	impresión 3D		.	187 h	14 €/h	2618 €
diseñador	absorción del polvo sobrante y limpieza de las piezas	0,37 h	20 mod.	7,4 h	32,68 €/h	241,832 €
diseñador	infiltrado con cianoacrilato	0,42	20 mod.	8,40 h	32,68 €/h	274,512 €
TOTAL:						3.160,49 €

CUADRO COSTES DE MANO DE OBRA TOTALES - MAQUETA ARQUEOLÓGICA

producto	precio
MODELO 3D	1388,57 €
PROTOTIPO	3.160,49 €
TOTAL	4549,06 €

3.1.2 Materiales y suministros no inventariables

CUADRO CANTIDAD DE MATERIAL CONSUMIDO POR PIEZA

pieza	tiempo de fabricación	cantidad de material		
		aglutinante (ml)	polvo composite (cc)	infiltrante
K1	20h 07min	235,00 ml	528,99cc	185,68 ml
K2	16h 20min	246,00 ml	554,31cc	194,56 ml
K3	14h 59min	228,70 ml	520,22cc	182,60 ml
K4	14h 40min	220,30 ml	504,28cc	177,00 ml
A1	10h 29min	117,70 ml	253,31cc	88,91 ml
A2	8h 38min	102,30 ml	215,86cc	75,77 ml
A3	4h 07min	70,80 ml	175,24cc	61,51 ml
A4	5h 57min	85,00 ml	202,20cc	70,97 ml
B1	8h 32min	106,00 ml	233,89cc	82,10 ml
B2	7h 11min	94,90 ml	220,67cc	77,46 ml
B3	7h 13min	92,20 ml	207,49cc	72,83 ml
B4	5h 16min	79,20 ml	193,93cc	68,07 ml
C1	9h 59min	117,00 ml	261,09cc	91,64 ml
C2	8h 55min	107,50 ml	238,69cc	83,78 ml
C3	6h 52min	92,10 ml	223,84cc	78,57 ml
C4	6h 02min	86,50 ml	198,83cc	69,79 ml
D1	11h 44min	125,80 ml	272,21cc	95,55 ml
D2	9h 04min	107,30 ml	245,12cc	86,04 ml
D3	8h 04min	96,70 ml	226,71cc	79,58 ml
D4	2h 55min	68,00 ml	218,72cc	76,77 ml
TOTAL	187h 04 min	2479,00 ml	5695,60 cc	2000 ml

CUADRO COSTES DE MATERIALES TOTALES

tipo de consumible:	marca:	cantidad:	euro/u.medida	precio
aglutinante	zb63 Binder	2479,00ml	0,26 €/ml	644,54 €
polvo composite	zp150	5695,60cc	0,11 €/cc	626,516 €
infiltrante	Z-bond 101	900 gr	0,45 €/gr	405 €
tinta color	HP57	2 unidades	25,99 €/unidad	51,98 €
tinta B&W	HP11	1 unidades	10,29 €/unidad	25,99 €
TOTAL:				1754,026 €

3.1.3 Costes directos corrientes totales

CUADRO COSTES DIRECTOS CORRIENTES TOTALES

producto	precio
Mano de Obra	4549,06 €
Materiales	1754,03 €
TOTAL	6303,09

3.2 COSTES DIRECTOS DE INVERSIÓN

3.2.2 Licencias de software

Software

empresa	producto	Precio
Robert McNeel & Associates	Licencia Rhinoceros 5.0	660 €
SARL RhinoTerrain	Licencia Plugin Rhinoterrain	1263 €
TOTAL:		2046 €

3.2.3 Costes directos de inversión totales

Para encontrar el coste real imputable al presupuesto aplicaremos el método de estimación directa simplificada, utilizando los coeficientes que aparecen en la Tabla de Amortización Simplificada publicada por la Agencia Tributaria.

El coeficiente de amortización anual para sistemas y programas informáticos es del 26%. Estimando que el presupuesto supone el 20% de la facturación anual, resulta un coeficiente de amortización final del 5,2%.

CUADRO COSTES DIRECTOS DE INVERSIÓN TOTALES DEL PORTAL WEB

concepto	precio total	coeficiente de amortización	gastos imputables
Software	2046 €	5,2%	106,39 €
TOTAL:			106,39 €

CUADRO COSTES DIRECTOS TOTALES MAQUETA ARQUEOLÓGICA

producto	precio
COSTES DIRECTOS CORRIENTES	6303,09 €
COSTES DIRECTOS DE INVERSIÓN	106,39 €
TOTAL	6409,48 €

3.4 COSTES INDIRECTOS

Los Costes Indirectos hacen referencia a aquellos necesarios para la ejecución del proyecto pero que no son atribuibles a ninguna unidad específica de trabajo, y se estiman en un porcentaje de los Costes Directos.

COSTES DIRECTOS = 6409,48 €

concepto	% de Costes Directos	coste total
Investigación y puesta en marcha del proyecto	4%	256,38 €
Gastos administrativos	4%	256,38 €
Consumo electrico Z-Printer	2%	128,19 €
TOTAL:		640,95 €

3.5 PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL (PEM)

descripción	precio
COSTES DIRECTOS CORRIENTES MAQUETA ARQUEOLÓGICA	6303,09 €
COSTES DIRECTOS DE INVERSIÓN MAQUETA ARQUEOLÓGICA	106,39 €
COSTES INDIRECTOS MAQUETA ARQUEOLÓGICA	640,95 €
TOTAL:	7050,43 €

3.6 PRESUPUESTO TOTAL MAQUETA ARQUEOLÓGICA

PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL (PEM)	7050,43 €
Gastos generales (10%)	705,04 €
Beneficio Industrial (11%)	775,55 €
SUBTOTAL	8531,02 €
IVA (21%)	1791,51 €

PRESUPUESTO TOTAL:	10.322,53 €
---------------------------	--------------------

4. PRESUPUESTO TOTAL ABSOLUTO

PRESUPUESTO PORTAL WEB	7115,42 €
PRESUPUESTO MAQUETA ARQUEOLÓGICA	10.322,53 €
PRESUPUESTO TOTAL:	17.437,95 €

V. ANEXOS

PFC Ingeniería Técnica en Diseño Industrial

Autor: Esteve Ribera Torró

Director: José Antonio Diego Mas

Valencia, junio del 2013



ÍNDICE

V. ANEXOS

1. PDF 3D: MODELO A. KUELAP
2. PDF 3D: MODELO B. ENTORNO
3. PDF 3D: MODELO AB. MAQUETA ARQUEOLÓGICA
4. PDF 3D: MALLAS V1, V2 I V3
5. CONVENIO MARCO UPV - GRA
6. ESTADÍSTICAS PORTAL WEB. GOOGLE ANALYTICS
7. FLUJO DE TRABAJO FOTOGRAFIA ESFÉRICA HDR
8. RECORTES DE PREMSA