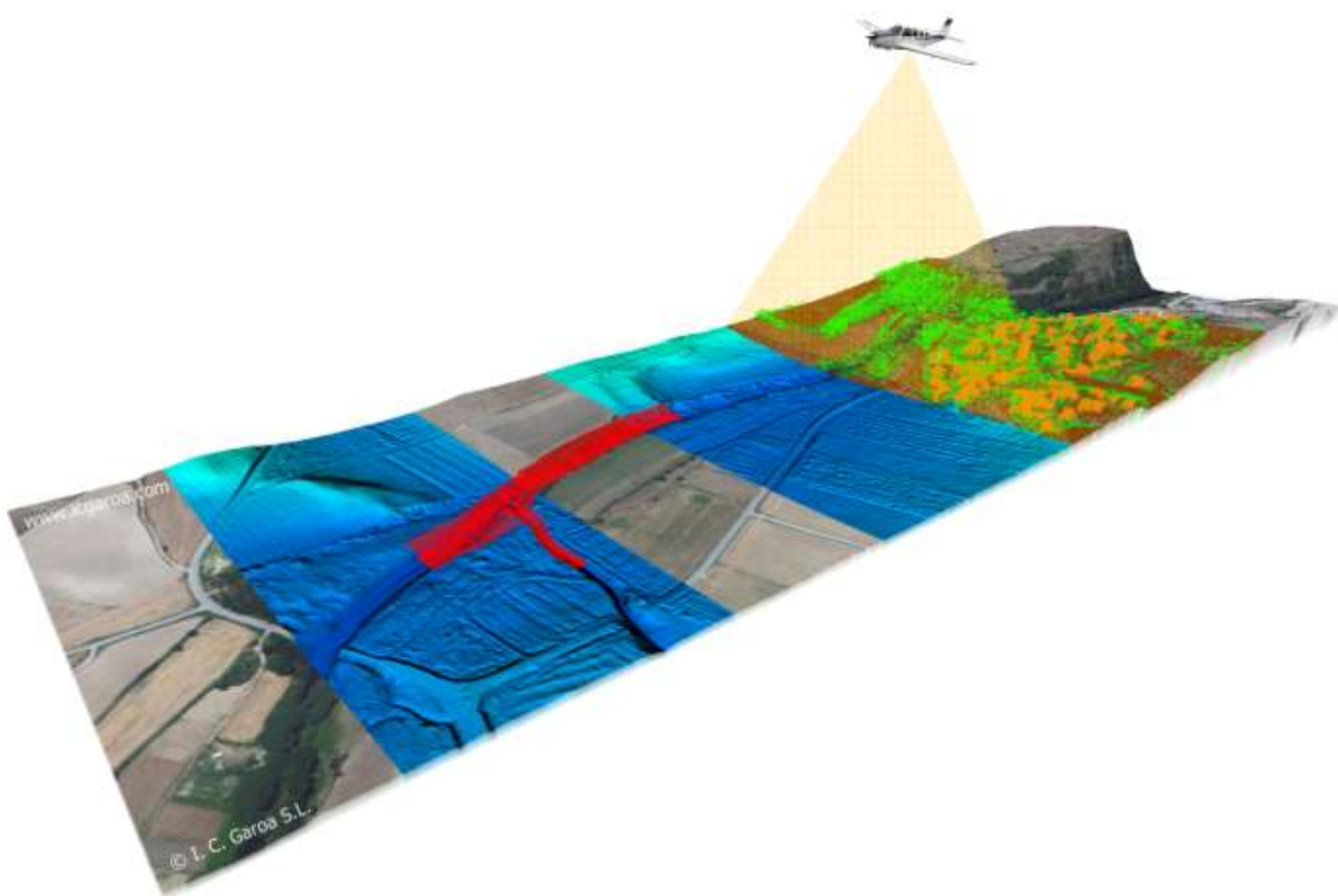


# ***BATIMETRÍA DE RÍOS, ARROYOS, EMBALSES Y ESTUARIOS DE LA COMUNIDAD AUTÓNOMA DEL PAIS VASCO.***

## ***TRABAJOS DE TOPOGRAFÍA.***



**TÍTULO DEL DOCUMENTO:**

Batimetría de ríos, arroyos, embalses y estuarios de la Comunidad Autónoma del País Vasco.

**ELABORADO POR:**

INGENIERÍA CARTOGRÁFICA GAROA, S.L.

**AUTOR:**

Juan Francisco Gallardo Sancha



## INDICE

<b>INDICE .....</b>	<b>3</b>
<b>INDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>5</b>
<b>INDICE DE TABLAS .....</b>	<b>9</b>
<b>1.- OBJETIVO .....</b>	<b>10</b>
<b>2.- ANTECEDENTES .....</b>	<b>11</b>
2.1.- Normativa .....	11
2.2.- Cálculo de zonas inundables. ....	12
2.3.- Mapas de peligrosidad por inundación .....	14
2.4.- Antecedentes Metodológicos para la obtención de modelos geométricos de Ríos. ....	18
2.5.- Vuelo LIDAR y productos derivados existentes .....	19
2.6.- Necesidad de completar y corregir los datos del MDEH. Obtención del MDR .....	24
<b>3.- METODOLOGÍA DE TRABAJO .....</b>	<b>25</b>
3.1.- Fase 1: Elaboración del plan de Trabajo de Campo.....	25
<i>Fase 1.a Elección de zona de trabajo y recopilación de información.....</i>	<i>27</i>
<i>Fase 1.b Análisis de información y diseño del trabajo de campo.....</i>	<i>28</i>
3.2.- Fase 2: Trabajos de campo (Topografía Y Batimetría).....	47
<i>Fase 2.a Revisión y adecuación de estructuras y perfiles existentes .....</i>	<i>50</i>
<i>Fase 2.b Topografía de estructuras nuevas. ....</i>	<i>52</i>
<i>Fase 2.c Topografía nuevos perfiles de cauces (Ríos y Arroyos) .....</i>	<i>53</i>
<i>Fase 2.d Zonas de Batimetría Continua (Embalses y Estuarios).....</i>	<i>55</i>

3.3.- Fase 3: Trabajos de Gabinete.....	60
<i>Fase 3.a Cálculo y delineación de los datos de CAMPO .....</i>	<i>60</i>
<i>Fase 3.b Confección del MDE (TIN) de los cauces medidos.....</i>	<i>62</i>
<i>Fase 3.c Integración de los datos obtenidos en las hojas del MDEH. Obtención del MDR.....</i>	<i>67</i>
<i>Fase 3.d Modelo geométrico completo de los cauces en HEC-RAS.....</i>	<i>70</i>
<i>Fase 3.e Control de calidad de los trabajos.....</i>	<i>76</i>
<b>4.- SOFTWARE UTILIZADO: DESARROLLO PROPIO Y COMERCIAL.....</b>	<b>77</b>
4.1.- Software de desarrollo propio .....	77
4.2.- Software comercial o de uso libre existente .....	83
<b>5.- RESUMEN DE TRABAJOS REALIZADOS .....</b>	<b>88</b>
5.1.- Ámbito de los trabajos.....	88
5.2.- El trabajo en cifras.....	89
<b>6.- APLICACIÓN METODOLÓGICA EN UN TRAMO DE RÍO .....</b>	<b>91</b>
6.1.- Comparación MDEH original Y MDR obtenido. Raster. ....	91
6.2.- Resultado de la batimetría de un embalse .....	98
<b>7.- CONCLUSIONES .....</b>	<b>102</b>
<b>8.- BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>105</b>
8.1.- Libros y manuales .....	105
8.2.- Información obtenida de Internet .....	106
<b>GLOSARIO .....</b>	<b>108</b>

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Localización de las ARSIPs en la CAPV .....	17
Figura 2.	Esquema de captura de datos mediante Vuelo LIDAR.....	19
Figura 3.	LIDAR. Diferentes rebotes de un mismo pulso láser .....	20
Figura 4.	Nube de puntos LIDAR.....	21
Figura 5.	Diferenciación de MDE (línea roja) y MDS (línea azul).....	22
Figura 6.	Diferenciación de MDE (Línea roja) y MDEH (línea azul) .....	22
Figura 7.	Ejemplo de campaña de campo a realizar.....	26
Figura 8.	Carátula del programa de “Conversión ED50-ETRS89” del Gobierno Vasco.....	28
Figura 9.	Distribución de hojas 5.000 de la CAPV.....	30
Figura 10.	Ejemplo de MDE generado por la unión de varias hojas en formato *.ASC. ....	31
Figura 11.	Curvado del MDEH sobre ortofoto. Zona donde el río está mal representado. ....	32
Figura 12.	Curvado del MDEH sobre ortofoto. Zona donde el río está bien representado .....	32
Figura 13.	Nube de puntos LIDAR. Color en base al valor de clasificación. ....	34
Figura 14.	Superposición de nube total de puntos LIDAR sobre ortofoto. ....	34
Figura 15.	Ejemplo de ortofoto y nube de puntos LIDAR. Identificación de puntos. ....	35
Figura 16.	Ortofoto y nube de puntos LIDAR. Puntos clasificados como “Suelo” .....	36
Figura 17.	Nube de puntos LIDAR sobre ortofoto y curvado. Perfil con partes erróneas y válidas.....	37
Figura 18.	Nube de puntos de suelo LIDAR Sobre ortofoto y curvas de nivel. Perfil válido.....	38
Figura 19.	Nube de puntos de suelo LIDAR sobre ortofoto. Perfil erróneo.....	38
Figura 20.	Perfil a partir de la nube de puntos LIDAR. Visualización según valor de clasificación. ....	39
Figura 21.	Perfil a partir de la nube de puntos LIDAR. Visualización según valor de nº de rebote.....	39
Figura 22.	Elección de cota de embalse para hacer la toma de datos de Batimetría. Incorrecta. ....	40

Figura 23.	<i>Elección de cota de embalse para hacer la toma de datos de Batimetría. Correcta.</i>	41
Figura 24.	<i>Ejemplo de ortofoto y nube de puntos total LIDAR en un embalse.</i>	42
Figura 25.	<i>Embalse de Albina: ortofoto y nube de puntos de suelo del vuelo LIDAR.</i>	43
Figura 26.	<i>Obtención de cota para planificar la fecha a realizar batimetría.</i>	43
Figura 27.	<i>Ejemplo de perfil cortando puntos de rebote en el agua. Batimetría Embalse.</i>	44
Figura 28.	<i>Mapa de la Red GNSS de Euskadi.</i>	47
Figura 29.	<i>Ejemplo de estructuras existente a revisar. Planta y Alzado.</i>	50
Figura 30.	<i>Ejemplo de medición de un perfil transversal existente con estación total</i>	51
Figura 31.	<i>Ejemplo de medición de una estructura nueva con estación total</i>	52
Figura 32.	<i>Ejemplo de perfiles realizados mediante GNSS-RTK vadeando el río.</i>	53
Figura 33.	<i>Ejemplo de perfiles realizados mediante estación total vadeando el río.</i>	54
Figura 34.	<i>Ejemplo de perfil realizado mediante GNSS-RTK embarcación y ecosonda.</i>	54
Figura 35.	<i>Esquema del sistema portátil de medición de Fondos (Batimetría).</i>	56
Figura 36.	<i>Ejemplo de perfil realizado mediante Estación Total embarcación y ecosonda.</i>	56
Figura 37.	<i>Ejemplo de perfil realizado mediante Estación Total embarcación y jalón.</i>	57
Figura 38.	<i>Esquema de trabajo para la realización de una batimetría de un río.</i>	58
Figura 39.	<i>Ejemplo de batimetría continua realizada mediante GNSS-RTK embarcación.</i>	59
Figura 40.	<i>Ejemplo de mapa topográfico en CAD. Estructuras y batimetría del río.</i>	60
Figura 41.	<i>Ejemplo de mapa de perfiles transversales en CAD y fichero ASCII generado.</i>	61
Figura 42.	<i>Ejemplo de plano de una sección de un puente</i>	61
Figura 43.	<i>Situación de la zona de ejemplo: Río Baias (T.M. de Urbina Eza)</i>	62
Figura 44.	<i>MDE de la zona, generado a partir de las Hojas 5.000 del MDEH existente.</i>	62
Figura 45.	<i>Curvado del MDE de la zona.</i>	63
Figura 46.	<i>Curvado del MDE de la zona sobre ortofoto.</i>	63

Figura 47.	Digitalización de líneas de a partir de perfiles transversales .....	64
Figura 48.	TIN inicial del MDEC generado sobre ortofoto .....	65
Figura 49.	TIN definitivo el MDEC sobre ortofoto .....	66
Figura 50.	Curvado del MDEC definitivo sobre ortofoto.....	66
Figura 51.	Ejemplo de TIN antes del RASTER.....	67
Figura 52.	Ejemplo del MDEC en formato Raster.....	67
Figura 53.	Ejemplo de MDEH antes de sumarle el MDEC .....	68
Figura 54.	Ejemplo de MDR obtenido al sumar el MDEC al MDEH.....	68
Figura 55.	Diferencia entre el MDR_60_61_ASC (izquierda) y MDR_60_51_RIO.ASC (derecha).....	69
Figura 56.	Representación de la geometría de un río en el programa HEC-RAS.....	70
Figura 57.	Detalle de una confluencia en HEC-RAS .....	71
Figura 58.	Detalle de un perfil transversal en HEC-RAS .....	71
Figura 59.	Perfil transversal en HEC-RAS con el valor “n” de Mannig.....	72
Figura 60.	Ejemplo geometría puentes en HEC-RAS.....	74
Figura 61.	Ejemplo geometría azudes en HEC-RAS .....	74
Figura 62.	Software de uso libre existente. HEC-RAS.....	87
Figura 63.	Mapa de situación de los trabajos .....	88
Figura 64.	Distribución de Hojas 5.000 tratadas.....	90
Figura 65.	Mapa de situación de la localidad de Trespuentes (Álava).....	91
Figura 66.	Ortofoto de la zona. Trespuentes (Álava).....	91
Figura 67.	MDEH original de la zona. Trespuentes (Álava).....	92
Figura 68.	MDR obtenido de la zona. Trespuentes (Álava).....	92
Figura 69.	Ubicación de la zona de detalle analizada.....	92



Figura 70.	MDEH original. Formato RASTER. ....	93
Figura 71.	MDR obtenido Formato RASTER.....	93
Figura 72.	MDEH original. Curvado.....	94
Figura 73.	MDR obtenido. Curvado.....	94
Figura 74.	MDC Generado formato TIN.....	95
Figura 75.	Comparación de perfiles obtenidos del MDEH y del MDR. Situación.....	96
Figura 76.	Comparación de perfiles obtenidos del MDEH y del MDR. Perfil 1.....	96
Figura 77.	Comparación de perfiles obtenidos del MDEH y del MDR. Perfil 2.....	97
Figura 78.	Comparación de perfiles obtenidos del MDEH y del MDR. Perfil 3.....	97
Figura 79.	Mapa de situación embalse.....	98
Figura 80.	Ortofoto del embalse de Aixola.....	99
Figura 81.	Ortofoto del embalse de Aixola con el MDR superpuesto. ....	100
Figura 82.	Curva característica de Superficie.....	100
Figura 83.	Curva característica de Volumen.....	101
Figura 84.	Perfil de comparación entre el MDEH y el MDR.....	102
Figura 85.	Perfil de comparación entre el MDR y el MDR+TIN del cauce.....	103
Figura 86.	Perfil de comparación entre el MDR y el MDR+TIN del cauce. Imagen ampliada.....	103

## INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1. Relación de las ARPSIs en el ámbito de la CAPV .....</i>	16
<i>Tabla 2. Fases del trabajo.....</i>	25
<i>Tabla 3. Elección de zonas de trabajos según la época del año.....</i>	27
<i>Tabla 4. Valor de clases de puntos LIDAR según el estándar de la ASPRS .....</i>	33
<i>Tabla 5. Zonas de río con necesidades de actuación sobre el MDEH existente.....</i>	45
<i>Tabla 6. Datos de conexión a la red GNSS de Euskadi .....</i>	48
<i>Tabla 7. Asignación del coeficiente de rugosidad dependiendo del uso del suelo.....</i>	73
<i>Tabla 8. Software de desarrollo propio. INTERPERFTRANS .....</i>	79
<i>Tabla 9. Software de desarrollo propio. CAD-HEC .....</i>	81
<i>Tabla 10. Software de desarrollo propio. CONTROL_FINAL.....</i>	82
<i>Tabla 11. Software comercial existente. Leica Geo Office .....</i>	83
<i>Tabla 12. Software comercial existente. Global Mapper.....</i>	84
<i>Tabla 13. Software comercial existente. Autocad CIVIL 3D.....</i>	85
<i>Tabla 14. Software de uso libre existente. QGIS.....</i>	86
<i>Tabla 15. Resumen Km. Batimetría, perfiles, puentes y azudes medidos.....</i>	89

## 1.- OBJETIVO

Por todos es sabido que los episodios de inundaciones provocan grandes pérdidas económicas e incluso amenazan la seguridad de los habitantes del territorio en el que ocurren. La actuación del hombre ha modificado cauces de ríos, ha interpuesto obstáculos a su paso y ha ocupado las zonas inundables.

El objetivo de esta memoria es la descripción de la metodología y de los trabajos realizados que han permitido la confección de un **MDR (Modelo Digital de elevaciones con información detallada de Ríos)** para la obtención de modelos geométricos precisos de ríos, arroyos y de su entorno. Con estos modelos geométricos de ríos, se han confeccionado diferentes Modelos Hidráulicos que posibilitan el cálculo de zonas inundables y la elaboración de los mapas de Peligrosidad por Inundación.

## 2.- ANTECEDENTES

La Agencia Vasca del Agua (Ur Agentzia) tiene que elaborar unos mapas de peligrosidad por inundación de todo el ámbito de la CAPV. Para ello se pretende obtener los modelos geométricos de los ríos (necesarios para realizar los cálculos de las zonas inundables) de un Modelo Digital de Elevaciones existente obtenido por tecnología LIDAR (MDEH). Se detecta que los ríos no aparecen bien representados en el MDEH existente, y por ello decide contratar una serie de trabajos topográficos y batimétricos para corregirlos.

A continuación se exponen los diferentes antecedentes que han dado lugar a la necesidad del trabajo que ha realizado la empresa Ingeniería Cartográfica GAROA S.L

### **2.1.- Normativa**

A tenor del Real Decreto 903/2010, de 9 de julio, de evaluación y gestión del riesgo de inundación, que transpone a la legislación española los contenidos de la Directiva Europea 2007/60/CE; es necesaria la obtención de nueva cartografía y nuevos modelos hidráulicos.

Los estados miembros de la UE deben cartografiar todas las zonas de riesgo confeccionando mapas que delimiten y clasifiquen esas zonas según su nivel de riesgo (alto, medio o bajo), y que indiquen los daños potenciales que pueda ocasionar una inundación a la población local, a los bienes y al medio ambiente. Estos mapas deben quedar establecidos antes del 22 de diciembre de 2013 (fase 2 de confección de Mapas de riesgos de inundación).

## 2.2.- Cálculo de zonas inundables.

Los mapas de peligrosidad comprenden la delimitación gráfica de la superficie anegada por las aguas para la ocurrencia de avenidas con periodos de retorno de 10, 100 y 500 años.

Período de retorno es el tiempo medio que transcurre entre dos sucesos de baja probabilidad, en ingeniería hidráulica es el tiempo medio entre dos avenidas con caudales iguales o superiores a uno determinado.

La obtención de la cota de lámina en avenida se obtiene mediante una compleja simulación hidráulica. Se parte de la **geometría** del cauce y de los caudales de diseño adoptados para cada periodo de retorno especificado.

La elaboración de los modelos hidráulicos comprende los siguientes pasos:

1) Definición de la **geometría de cauce** y llanuras de inundación mediante perfiles transversales dispuestos de manera perpendicular a las líneas de corriente, con una separación típica de 50 m en zona urbana y de 100 m en zona rural.

2) Definición de la **geometría de las estructuras** como obstrucciones a la sección de flujo.

3) Incorporación de elementos especiales: obstrucciones, zonas inefectivas y motas.

4) Determinación de los coeficientes de rugosidad de Manning, obtenidos en el cauce a partir de su naturaleza y propiedades morfológicas mediante la formulación de Cowan (se ha diferenciado el lecho de las márgenes vegetadas), y en las llanuras de inundación en función de los usos del suelo. En el apartado 3.3 Fase 3.d se especifican los valores del coeficiente de rugosidad “n” para la fórmula de Manning adoptados.

5) Adopción de coeficientes de contracción y expansión entre secciones y de desagüe en estructuras coherentes con las recomendaciones del HEC.

6) Elección del método de cálculo de estructuras más indicado para cada caudal de tránsito.

7) Incorporación de los caudales de diseño como valores constantes por tramo.

8) Elección de la condición de contorno aguas abajo:

Finalizado el cálculo hidráulico y a partir del Modelo Digital del Terreno disponible, se han trasladado los resultados al espacio, resultando la delimitación de las zonas inundables y las distribuciones de calado y velocidad asociadas. Se ha efectuado además un ajuste de

detalle de las zonas inundables obtenidas mediante la interpretación de toda la información cartográfica y fotográfica disponible.

*Los trabajos topográficos que se describirán a continuación han sido básicos para la consecución de los dos primeros pasos necesarios para la elaboración de los modelos hidráulicos.*

### 2.3.- Mapas de peligrosidad por inundación

Los mapas de peligrosidad por inundación constituyen la base de partida para el análisis del riesgo de inundación y una herramienta esencial en la gestión diaria de las zonas inundables.

La Agencia Vasca del Agua contaba ya con la delimitación de zonas inundables de gran parte de las ARPSIs identificadas (Áreas de Riesgo Potencial Significativo por Inundación), procedentes del “Plan Integral de Prevención de Inundaciones de la CAPV” y sus posteriores revisiones. No obstante, consciente de la importancia de disponer de una cartografía lo más actualizada y rigurosa posible, la Agencia Vasca del Agua decidió acometer nuevos trabajos topográficos e hidráulicos, para la obtención de los mapas de Peligrosidad por Inundación.

El ámbito de estudio comprende todas las cuencas de la CAPV, de competencia autonómica como estatal. En este ámbito, la Evaluación Preliminar del Riesgo de Inundación ha identificado 100 ARPSIs, fluviales y costeras, resumidas en la siguiente tabla:

Unidad Hidrológica	Código ARSIP	Nombre ARSIP	Provincia
Artibai	ES017-BIZ-ART-01	Markina-Xemein	Bizkaia
	ES017-BIZ-ART-02	Etxebarria	Bizkaia
	ES017-BIZ-ART-03	Ondarroa-Costa	Bizkaia
Barbadun	ES017-BIZ-BAR-01	Barbadun	Bizkaia
Bidasoa	ES017-GIP-BID-01	Irún-Hondarribia	Gipuzkoa
Butroe	ES017-BIZ-BUT-01	Plentzia	Bizkaia
	ES017-BIZ-BUT-02	Gatika	Bizkaia
	ES017-BIZ-BUT-03	Mungia	Bizkaia
	ES017-BIZ-BUT-04	Bakio	Bizkaia
Deba	ES017-BIZ-DEB-05	Mallabia-Eibar	Bizkaia
	ES017-GIP-DEB-01	Deba	Gipuzkoa
	ES017-GIP-DEB-02	Mendaro	Gipuzkoa
	ES017-GIP-DEB-03	Altzola	Gipuzkoa
	ES017-GIP-DEB-04	Elgoibar	Gipuzkoa
	ES017-GIP-DEB-06	Soraluce	Gipuzkoa
	ES017-GIP-DEB-07	Bergara	Gipuzkoa
	ES017-GIP-DEB-08	Oñati	Gipuzkoa
	ES017-GIP-DEB-09	Arrasate	Gipuzkoa
	ES017-GIP-DEB-10	Eskoriatza	Gipuzkoa
Ibaizabal	ES017-BIZ-IBA-01	Ría de Bilbao	Bizkaia
	ES017-BIZ-IBA-02	Galindo	Bizkaia
	ES017-BIZ-IBA-03	Getxo	Bizkaia
	ES017-BIZ-IBA-04	Leioa	Bizkaia
	ES017-BIZ-IBA-05	Sondika-Erandio	Bizkaia

Ibaizabal (Río Nervión)	ES017-ALA-10-2	Amurrio	Araba-Álava
	ES017-ALA-10-3	Aiara	Araba-Álava
	ES017-BIZ-10-1	Laudio	Bizkaia
Ibaizabal (Río Nervión / Ibaizabal)	ES017-BIZ-11-1	Orduña	Bizkaia
	ES017-BIZ-12-1	Basauri	Bizkaia
	ES017-BIZ-12-2	Arigorriaga	Bizkaia
Ibaizabal (Río Arratia)	ES017-BIZ-12-3	Galdakao	Bizkaia
	ES017-BIZ-2-1	Igorre	Bizkaia
Ibaizabal (Río Kadaqua)	ES017-BIZ-2-2	Zeanuri	Bizkaia
	ES017-BIZ-5-1	Balmaseda	Bizkaia
	ES017-BIZ-6-1	Zalla-Guenes	Bizkaia
	ES017-BIZ-7-1	Gordexola-Sodupe	Bizkaia
	ES017-BIZ-7-2	Alonsotegi-1	Bizkaia
Ibaizabal (Río Ibaizabal)	ES017-BIZ-7-3	Alonsotegi-2	Bizkaia
	ES017-BIZ-8-1	Atxondo	Bizkaia
	ES017-BIZ-8-2	Elorrio	Bizkaia
	ES017-BIZ-9-1	Durango	Bizkaia
	ES017-BIZ-9-2	Amorebieta	Bizkaia
	ES017-BIZ-9-3	Lemoa	Bizkaia
Lea	ES017-BIZ-9-4	Bolunburu	Bizkaia
Oartzun	ES017-BIZ-LEA-01	Ea	Bizkaia
	ES017-GIP-OIA-01	Oartzun	Gipuzkoa
Oka	ES017-GIP-OIA-02	Altzibar	Gipuzkoa
	ES017-BIZ-OKA-01	Oka	Bizkaia
	ES017-BIZ-OKA-02	Mundaka	Bizkaia
Oria	ES017-BIZ-OKA-03	Altamira	Bizkaia
	ES017-GIP-ORI-01	Zarautz	Gipuzkoa
Oria (Amezket Erreka)	ES017-GIP-ORI-02	Aia-Orio	Gipuzkoa
Oria (Rioa Agauntza)	ES017-GIP-1-1	Amezket	Gipuzkoa
	ES017-GIP-13-1	Ataun	Gipuzkoa
Oria (Rioa Araxes)	ES017-GIP-13-2	Lazkao	Gipuzkoa
	ES017-GIP-14-1	Beasain-Ordizia	Gipuzkoa
	ES017-GIP-14-2	Legorreta	Gipuzkoa
	ES017-GIP-14-3	Alegia-Altzo	Gipuzkoa
	ES017-GIP-15-1	Villabona	Gipuzkoa
	ES017-GIP-15-2	Tolosa	Gipuzkoa
	ES017-GIP-15-3	Andoain	Gipuzkoa
	ES017-GIP-16-1	Usurbil	Gipuzkoa
Urola	ES017-GIP-16-2	Zubieta-Oria	Gipuzkoa
	ES017-GIP-3-1	Lizartza	Gipuzkoa
Urola	ES017-GIP-URO-01	Zumaia	Gipuzkoa
	ES017-GIP-URO-02	Azpeitia	Gipuzkoa



	ES017-GIP-URO-03	Urrestilla	Gipuzkoa
	ES017-GIP-URO-04	Azkoitia	Gipuzkoa
	ES017-GIP-URO-05	Zumarraga-Urretxu	Gipuzkoa
	ES017-GIP-URO-06	Legazpi	Gipuzkoa
Urumea	ES017-GIP-URU-01	Urumea-2	Gipuzkoa
	ES017-GIP-URU-02	Donostia	Gipuzkoa
	ES017-GIP-URU-03	Donostia-Costa	Gipuzkoa
Urumea (Río Urumea)	ES017-GIP-17-1	Urumea	Gipuzkoa
Omeçillo	ES091_ARPS_AEB-11	Valdegovía-1	Araba-Álava
	ES091_ARPS_AEB-12	Valdegovía-2	Araba-Álava
	ES091_ARPS_AEB-14	Osma	Araba-Álava
Arakil	ES091_ARPS_ARK-08	Asparrena	Araba-Álava
Baías	ES091_ARPS_BAI-01	Kuartango	Araba-Álava
	ES091_ARPS_BAI-02	Riebera Alta-1	Araba-Álava
	ES091_ARPS_BAI-03	Riebera Alta-2	Araba-Álava
Ebro	ES091_ARPS_LEB-01	Arroyo de la Fuente	Araba-Álava
	ES091_ARPS_LEB-02	Río Ebro y Arroyo de Yécora	Araba-Álava
Zadorra	ES091_ARPS_ZAD-01	Vitoria-Gasteiz (Río Zadorra)	Araba-Álava
	ES091_ARPS_ZAD-02	Armiñon (Río Zadorra)	Araba-Álava
	ES091_ARPS_ZAD-03	Vitoria-Gasteiz (Río Alegría)	Araba-Álava
	ES091_ARPS_ZAD-06	Berantevilla (Río Ayuda)	Araba-Álava
	ES091_ARPS_ZAD-07	Salvatierra (Río Zadorra)	Araba-Álava
	ES091_ARPS_ZAD-08	Salvatierra (Río Egileor y Barranco Santa Barbara)	Araba-Álava
	ES091_ARPS_ZAD-09	Aberasturi	Araba-Álava
	ES091_ARPS_ZAD-10	Ullibarri Olleros (Arroyo de Santo Tomás)	Araba-Álava
	ES091_ARPS_ZAD-11	Mendiola	Araba-Álava
	ES091_ARPS_ZAD-12	Vitoria-Gasteiz Sur (Batán Erreka)	Araba-Álava
	ES091_ARPS_ZAD-13	Trespuentes	Araba-Álava
	ES091_ARPS_ZAD-14	Vitoria-Gasteiz (Río Mendiguren)	Araba-Álava
	ES091_ARPS_ZAD-15	Vitoria-Gasteiz (Barranco de Estarrona)	Araba-Álava
	ES091_ARPS_ZAD-16	Vitoria-Gasteiz (Barranco de Margarita)	Araba-Álava
	ES091_ARPS_ZAD-17	Otazu	Araba-Álava
	ES091_ARPS_ZAD-18	Arcaya	Araba-Álava

Tabla 1. Relación de las ARPSIs en el ámbito de la CAPV



Figura 1. Localización de las ARSIPs en la CAPV

#### **2.4.- Antecedentes Metodológicos para la obtención de modelos geométricos de Ríos.**

Hasta hace poco, estos mapas se obtenían a partir de modelos geométricos de los ríos que se realizaban midiendo en campo una serie de perfiles transversales al cauce del río, separados entre sí una distancia variable. En las zonas que se quedaban entre perfiles, y se carecía de información precisa del cauce del río y de su entorno.

Normalmente el número de perfiles que se obtenían no era muy alto, ya que suponía mucho trabajo de campo que implicaba un gran desembolso económico. Además estos perfiles a veces se completaban o alargaban utilizando cartografías de diferentes precisiones, lo que no aseguraba que la geometría de los perfiles fuera homogénea.

Para la elaboración de los mapas actuales, se pretende utilizar una información de partida que permita caracterizar los cauces con un número mayor de perfiles y más homogéneos. Concretamente se pretende utilizar el Modelo Digital de Elevaciones para Estudios Hidráulicos existente (MDEH Ver punto 2.5).

## 2.5.- Vuelo LIDAR y productos derivados existentes

En el año 2008 el Gobierno Vasco y la Diputación Foral de Gipuzkoa realizaron un vuelo LIDAR continuo de toda la CAPV.

El vuelo LIDAR se realiza mediante una aeronave que incorpora un láser aerotransportado de medición directa de distancias. Gracias a complejos sistemas que determinan la posición exacta y trayectoria de la aeronave y por tanto del sensor (sistemas GNSS, sistemas Inerciales IMUS, etc.), se consigue una nube de puntos muy densa de todos los elementos sobre los que rebotó el láser.

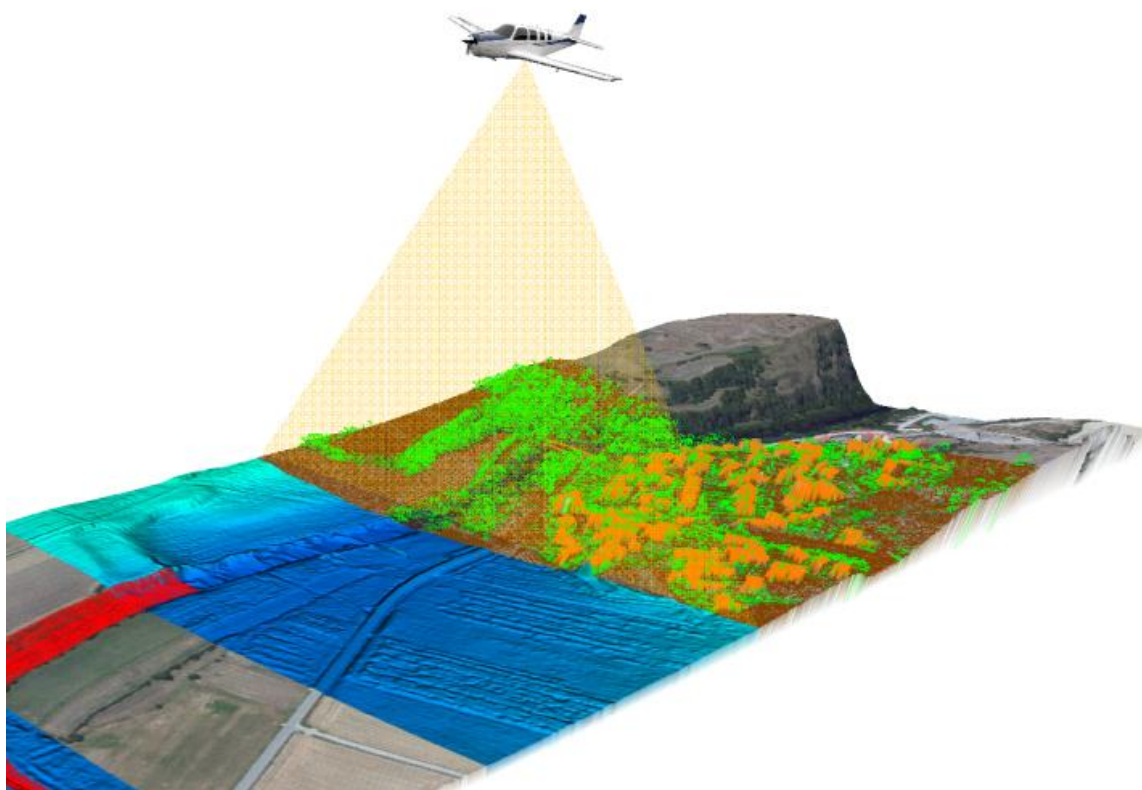


Figura 2. Esquema de captura de datos mediante Vuelo LIDAR

Como se aprecia en la siguiente figura, un mismo pulso láser puede rebotar a diferentes alturas, con lo que un mismo rayo puede capturar diferentes puntos (Ej. La copa de un árbol, y el suelo).

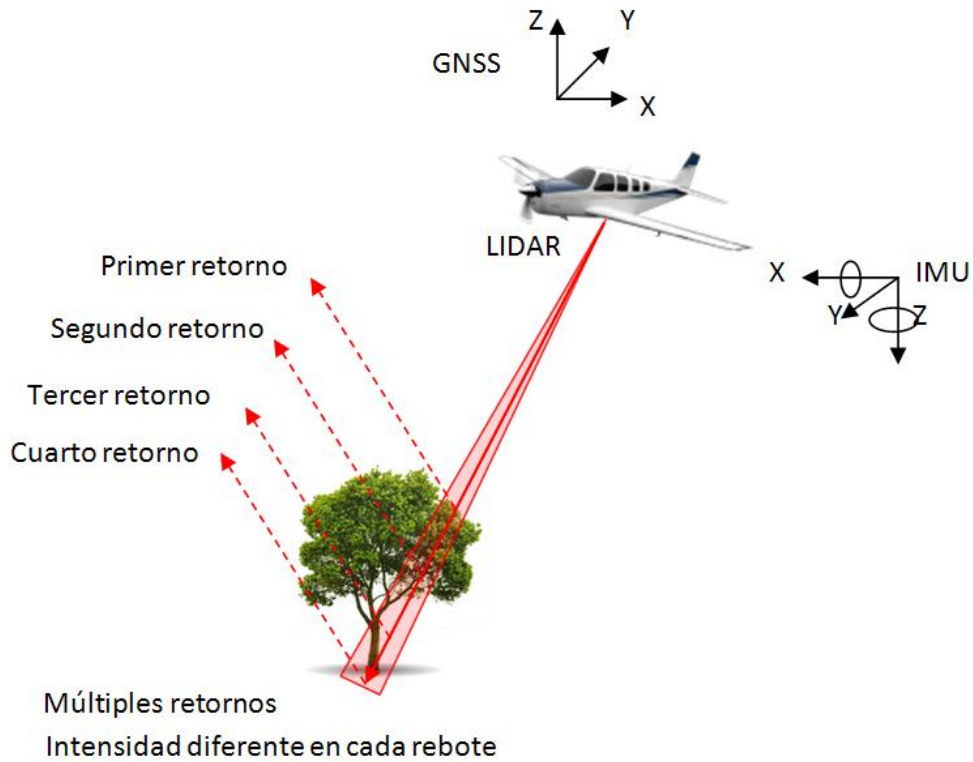


Figura 3. LIDAR. Diferentes rebotes de un mismo pulso láser

Todos estos datos forman la nube de puntos inicial que se almacena en archivos binarios en formato **LAS**, que corresponde a un estándar abierto para el intercambio de datos de LIDAR desarrollada por la **ASPRS**. Adicionalmente a las coordenadas X, Y, Z, también se almacena información característica de cada punto como la intensidad, clasificación, número de retorno, pasada, hora de captura GPS, etc.

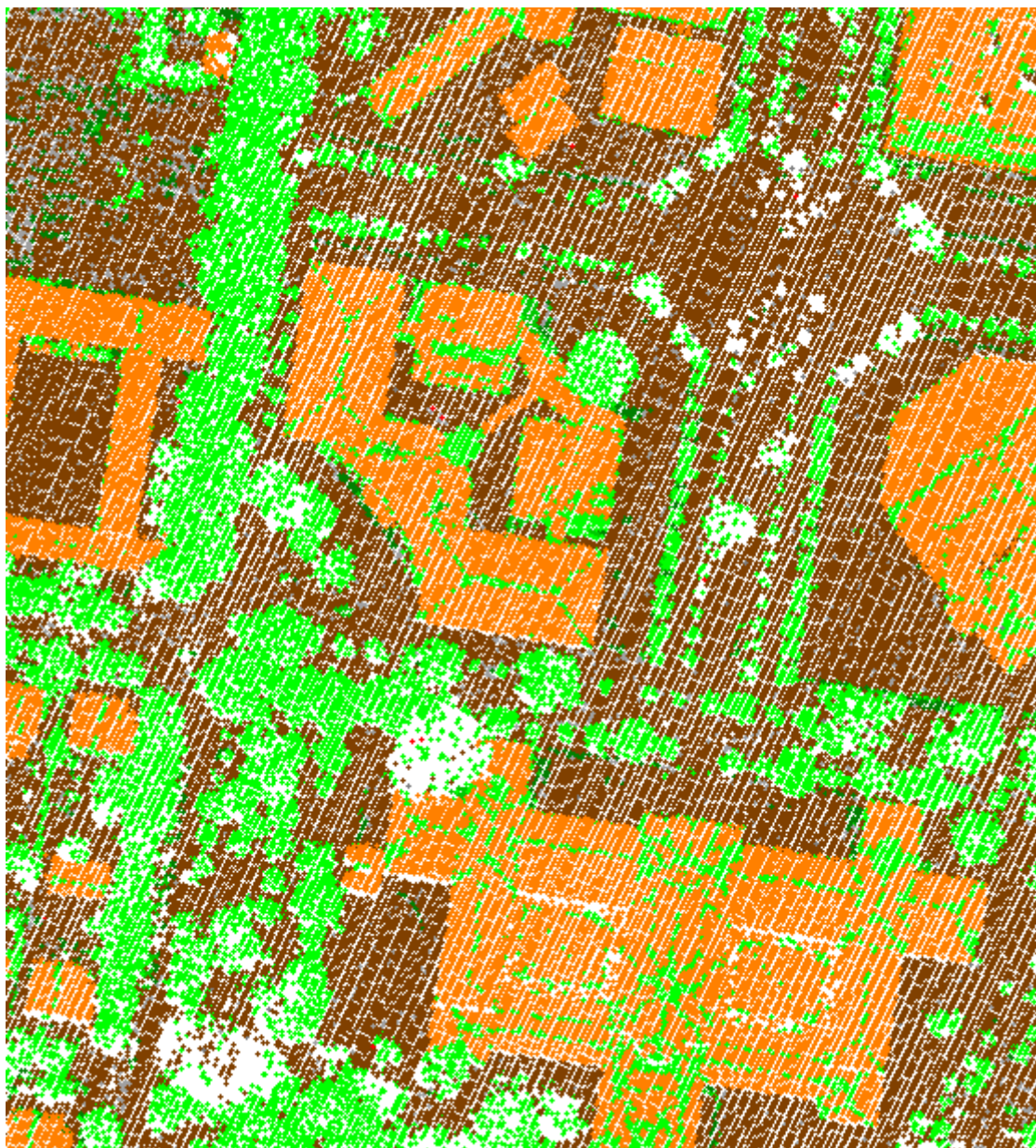


Figura 4. Nube de puntos LIDAR.

Al procesar estas nubes de puntos brutas iniciales, se obtienen los siguientes productos derivados homogéneos, depurados y continuos para toda la CAPV:

- Nube de puntos clasificados en formato LAS (por archivos de 1km x 1km)
- Modelos Digitales de Elevaciones de 1mx1m (por hojas 1:5.000)

Cuando se habla de Modelos Digitales del Terreno no siempre está clara la nomenclatura utilizada, por ello se han de tener en cuenta las siguientes definiciones:

1º) Un **MDT** (Modelo Digital de Terreno), es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua.

2º) Un **MDE** (Modelo Digital de Elevaciones), es un tipo de MDT en el que la variable representada es la cota del terreno y se refiere a la superficie del suelo desnudo (no contempla vegetación, edificaciones, puentes, torres de tensión, infraestructuras...).

La nomenclatura que emplea el Gobierno Vasco para los MDE existentes es la siguiente:

**MDT:** Modelo Digital del Terreno. Representa exclusivamente el terreno, eliminando principalmente los edificios, puentes y la vegetación. Según las definiciones anteriores se corresponde con el MDE.

**MDS:** Modelo Digital de Superficies máximas. Es el modelo digital de Elevaciones que representa la superficie del terreno y todos los elementos que alberga.



Figura 5. Diferenciación de MDE (línea roja) y MDS (línea azul)

**MDEH: Modelo Digital de Elevaciones para estudios Hidráulicos.** Se obtiene del MDT (MDE) incluyendo los edificios, necesarios para los estudios de inundación ya que suponen un obstáculo para el paso del agua que hay que tener en cuenta.



Figura 6. Diferenciación de MDE (Línea roja) y MDEH (línea azul)

- Imagen de sombras (por hojas 1:5.000 y mosaico ecw)
- Imagen de intensidades (por hojas 1:5.000 y mosaico ecw)

Todos los productos están referidas en el **Sistema de Referencia ETRS89 y la altitud en cotas ortométricas.**

Entre otras labores de depuración, se han recalculado las altitudes **ortométricas en base al nuevo modelo del geoide EGM08\_RED NAP.**

Todos estos productos y esta descripción se pueden encontrar en la IDE de Euskadi

[www.geo.euskadi.net](http://www.geo.euskadi.net)

Todos los datos se han publicado para su descarga en el servicio FTP en la siguiente dirección:

<ftp://ftp.geo.euskadi.net/lidar>



## **2.6.- Necesidad de completar y corregir los datos del MDEH. Obtención del MDR**

El LIDAR es un sistema preciso para la obtención de Modelos Digitales de Terreno, pero existen zonas donde es imposible que el Láser penetre y pueda medir puntos. Desafortunadamente las riberas de los Ríos son una de estas zonas donde el LIDAR no suele recoger puntos.

Otro de los problemas del LIDAR convencional (existe LIDAR batimétrico), es que no penetra en el agua con lo que no puede determinar las cotas de los fondos.

Como la mayoría de los ríos de la vertiente cantábrica de la CAPV presentan caudales permanentes, con calados importantes en muchos tramos, y como además cuentan con un bosque de ribera bien desarrollado, la información generada por el LIDAR no resulta suficiente por sí misma para abordar estudios de peligrosidad por avenida, pues la capacidad de desagüe del cauce se ve significativamente alterada por las imprecisiones en la definición geométrica del cauce.

Conocida esta carencia, la Agencia Vasca del Agua decidió abordar trabajos batimétricos consistentes en la obtención del lecho y márgenes del cauce en un número elevado de secciones transversales a lo largo de los cursos fluviales a analizar, con una separación tal que permitiera su interpolación y el dibujo del río de forma continua.

Para completar este trabajo y dado que los cauces de estudio presentan gran cantidad de obstáculos al flujo, fundamentalmente puentes, coberturas y azudes, con una incidencia que puede llegar a ser muy importante en la inundabilidad, la Agencia Vasca del Agua decidió también efectuar un nuevo levantamiento topográfico de las distintas estructuras y elementos singulares existentes (por ejemplo muros de protección), incluyendo alzado, fotografías y taquimétricos 3D a escala 1:500. De esta manera, se está en disposición de incorporar con rigor su efecto en el tránsito de las crecidas.

### 3.- METODOLOGÍA DE TRABAJO.

La metodología que se describe a continuación ha permitido llevar a cabo los trabajos de caracterización de 1.300 Km. de cauces de ríos distribuidos a lo largo de toda la Comunidad Autónoma del País Vasco.

El trabajo consta de las siguientes fases:

FASE	DESCRIPCIÓN	TRABAJO DE CAMPO/GABINETE
1	<i>Elaboración del plan de Trabajo de Campo</i>	
1.a	Elección de zona de trabajo y recopilación de información.	Gabinete
1.b	Análisis de información y diseño del trabajo de campo.	Gabinete
2	<i>Trabajos de campo (Topografía Y Batimetría)</i>	
2.a	Revisión y adecuación de estructuras y perfiles existentes.	Campo
2.b	Topografía de estructuras nuevas.	Campo
2.c	Topografía nuevos perfiles de cauces (Ríos y Arroyos)	Campo
2.d	Zonas de Batimetría Continua (Embalses y Estuarios)	Campo
3	<i>Trabajos de Gabinete</i>	
3.a	Cálculo y delineación de los datos de CAMPO.	Gabinete
3.b	Confeción del MDT (TIN) de los cauces medidos.	Gabinete
3.c	Integración de los datos obtenidos en las hojas del MDEH.	Gabinete
3.d	Modelo geométrico completo de los cauces en HEC-RAS.	Gabinete
3.e	Control de calidad de los trabajos.	Campo y Gabinete

Tabla 2. Fases del trabajo.

A continuación se describe detalladamente la metodología empleada en cada una de las fases del trabajo realizado:

#### 3.1.- Fase 1: Elaboración del plan de Trabajo de Campo

Inicialmente se recibe de la empresa Ingeniería SENER un gráfico en formato digital en el que aparecen representadas las zonas a estudiar. Estos gráficos conforman la CAMPAÑA TOPOGRÁFICA a realizar. En los gráficos de la Campaña Topográfica aparecen representados los ejes aproximados de los ríos a medir y los perfiles transversales que sería necesario representar en el modelo geométrico del río final. Los perfiles llegan diferenciados en 2 categorías:

Perfiles de CAMPO: agrupa los perfiles que por su importancia hacen necesario realizar una toma específica de datos de campo en esa zona.

Perfiles INTERPOLADOS: agrupa los perfiles que deben aparecer representados en el modelo geométrico a entregar en formato HEC-RAS (ver fase III.d), pero que se pueden obtener directamente del MDR.

En la siguiente figura se representan en rojo los perfiles interpolados y en azul los perfiles de campo. Cuando aparecen varios perfiles de campo (azules) muy juntos implica la existencia de una obstrucción (puentes, azud, etc..) en la que hay que realizar un levantamiento taquimétrico de detalle.



Figura 7. Ejemplo de campaña de campo a realizar

**Fase 1.a Elección de zona de trabajo y recopilación de información.**

Se empieza distribuyendo el trabajo en diferentes zonas y asignando el orden de los trabajos de campo atendiendo a las siguientes razones:

1º) Se comienza con las zonas clasificadas como Áreas de Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSIs).

2º) Zonas en las que surge una necesidad inmediata de estudio y necesidad de datos de topografía.

3º) Para el resto de zonas, se tienen en cuenta las diferentes épocas del año para conseguir los mayores rendimientos en campo, siguiendo los criterios establecidos en la siguiente tabla:

Tipología de los tramos de río a medir	Estación adecuada para la realización de los trabajos de campo	Justificación
Arroyos o Ríos pequeños con abundante masa arbórea en sus riberas.	Finales de Otoño-Invierno	La ausencia de hojas en los árboles facilita la realización de visuales topográficas. Aunque su caudal crezca se pueden vadear fácilmente.
Ríos grandes	Verano o principios de Otoño.	La época de estiaje facilita vadear el río, siendo conveniente evitar época de crecidas.
Estuarios	Cualquiera	Se tienen en cuenta las mareas; utilizando las horas de pleamar para abarcar más superficie con la batimetría.
Embalses	Finales de Invierno-Primavera	Se busca la época de máximo embalse para abarcar la mayor superficie, o como mínimo asegurar solape con los datos LIDAR.
Zonas de Ríos aguas arriba de azudes	Cualquiera	Siempre que no exista una crecida que imposibilite la navegación o haga peligroso acercarse al azud.
Resto de casos	Cualquiera	Siempre que no exista una crecida que imposibilite la navegación o vadear el río.

Tabla 3. Elección de zonas de trabajos según la época del año

**Fase 1.b Análisis de información y diseño del trabajo de campo.**

**Análisis de información**

Una vez elegida la zona se realiza un montaje de la Campaña Topográfica sobre la Ortofoto a escala 1/5.000 (se usa la Versión más actual) y se analiza detalladamente en un sistema de Información Geográfica para elaborar el plan de trabajo de campo.

En el caso de contar con cartografía de detalle de estudios de inundabilidad se comienza adecuando las diferentes cartografías recibidas al mismo sistema de referencia. La mayoría de los datos recibidos están en el sistema de referencia UTM ED50 siendo necesario transformarlos a UTM ETRS89, sistema en el que están los datos LIDAR y en el que se han realizado todos los trabajos.

Para ello se transforma la información Gráfica a escala 1/500 facilitada en formato DWG mediante el programa de “Conversión ED50-ETRS89” que el Departamento de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio del Gobierno Vasco pone a disposición del público con el fin de realizar la conversión entre ambos sistemas de la cartografía correspondiente a la Comunidad Autónoma del País Vasco.

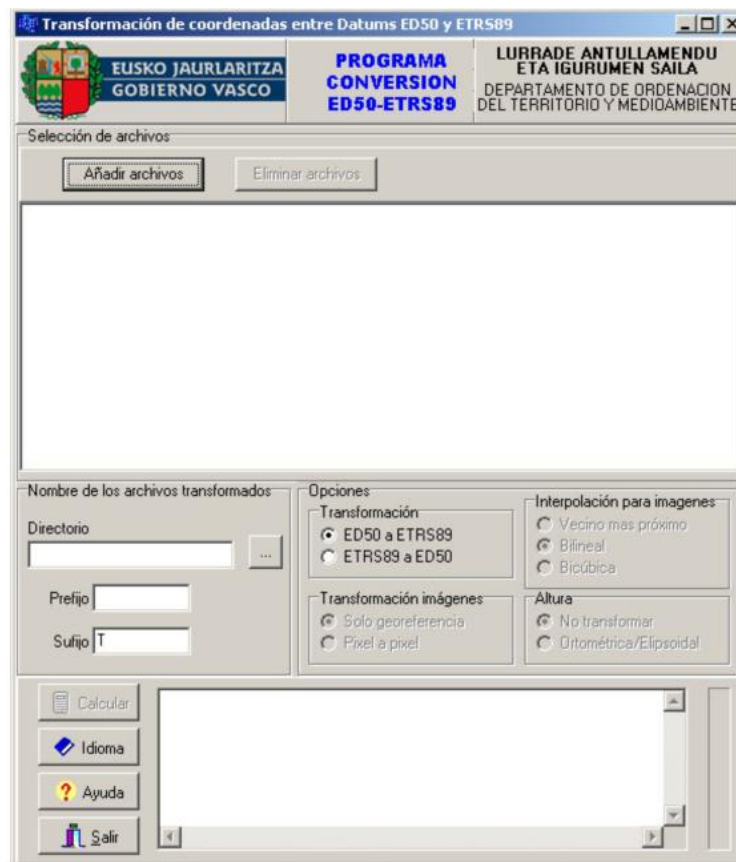


Figura 8. Carátula del programa de “Conversión ED50-ETRS89” del Gobierno Vasco

A continuación con ayuda del GIS, se realiza un montaje de la cartografía recibida sobre la ortofoto más reciente y se realiza un recorrido visual por todo el ámbito de trabajo para identificar, diferenciando entre existentes (a revisar) y nuevos, los siguientes puntos singulares sobre el cauce, que pueden suponer un obstáculo, como:

- 1.- Puentes y pasarelas.
- 2.- Azudes, pequeñas presas, estaciones de aforos, saltos en roca.
- 3.- Edificios muy próximos al cauce, o sobre el mismo que tengan efecto sobre la corriente de avenidas.
- 4.- Obras de cobertura, galerías y conductos.
- 5.- Cruces de infraestructura artificiales que puedan afectar al régimen de corrientes.
- 6.- Canalizaciones o modificaciones sustanciales de los cauces.
- 7.- Saltos naturales y cortas naturales.
- 8.- Muretes cerrados junto al cauce que impiden que el cauce se desborde.

Finalmente se han medido de nuevo en campo todos estos elementos, ya que el MDEH y el Vuelo LIDAR utilizan como sistema de referencia en altimetría (Z) la nueva REDNAP, y la cartografía existente esta realizada en un sistema de referencia altimétrico diferente. Esta diferencia de sistema de referencia altimétrico no se puede corregir automáticamente como el caso de la planimetría (coordenadas X,Y).

Seguidamente, se revisa la información del MDEH en las zonas de los cauces de los Ríos o masas de agua, para poder analizar, completar y corregir la información del modelo obtenido mediante el Vuelo LIDAR. La distribución en hojas del MDEH es coincidente a la de las hojas 5.000 de la cartografía de la CAPV.

En la siguiente figura se muestra la distribución de hojas 5.000 de la CAPV (color azul) y la ubicación de las zonas de trabajos (líneas de color verde).

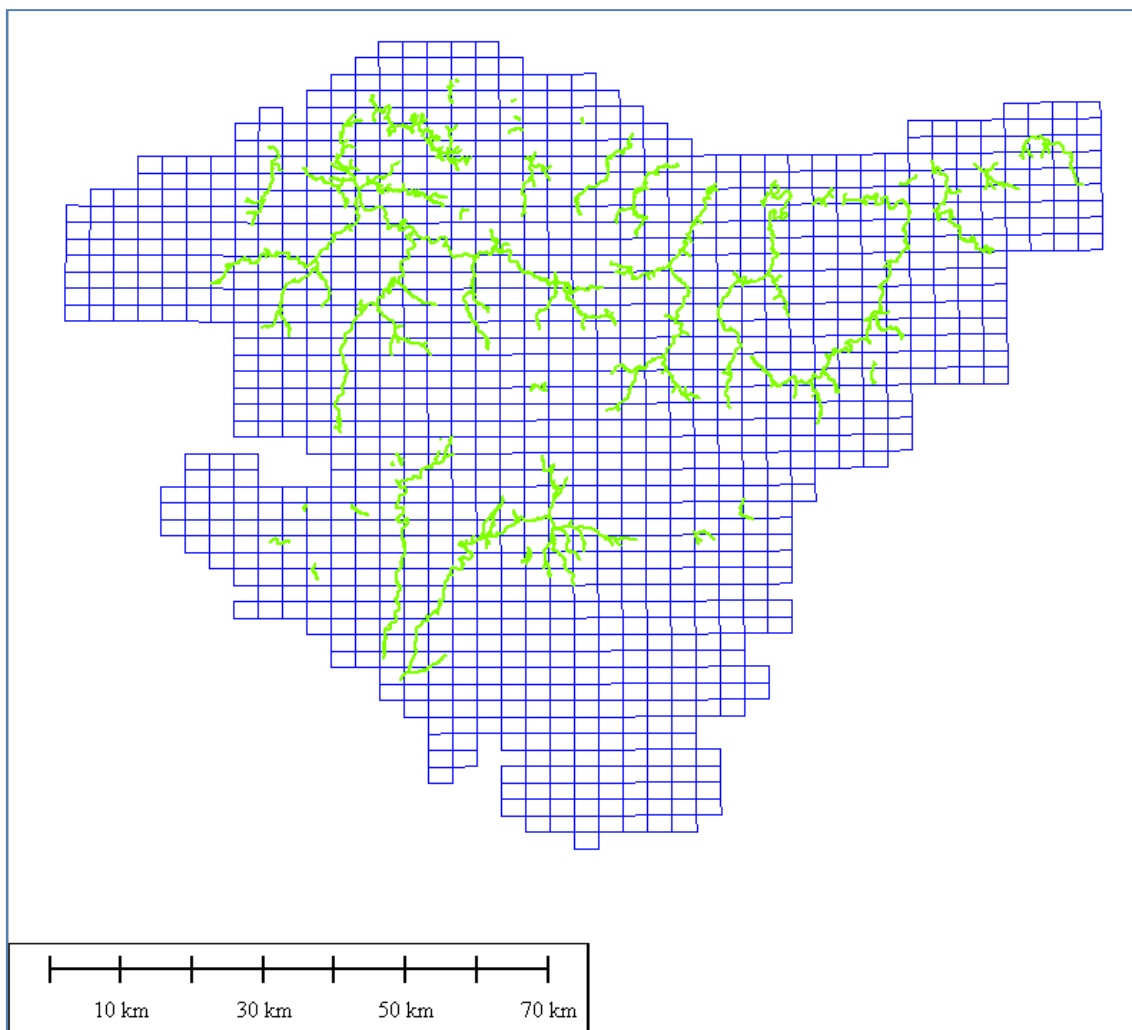


Figura 9. Distribución de hojas 5.000 de la CAPV

Para ello se comienza visualizando en un GIS el MDE continuo de una zona de trabajo. En este proceso solamente se tienen que importar los datos de las hojas en formato ASC (Arc Ascii GRID) del MDEH existente.

En la siguiente figura se muestra como ejemplo EL MDEH continuo de un tramo del río Zadorra, y se aprecia la zona del cauce que no aparece bien representado.

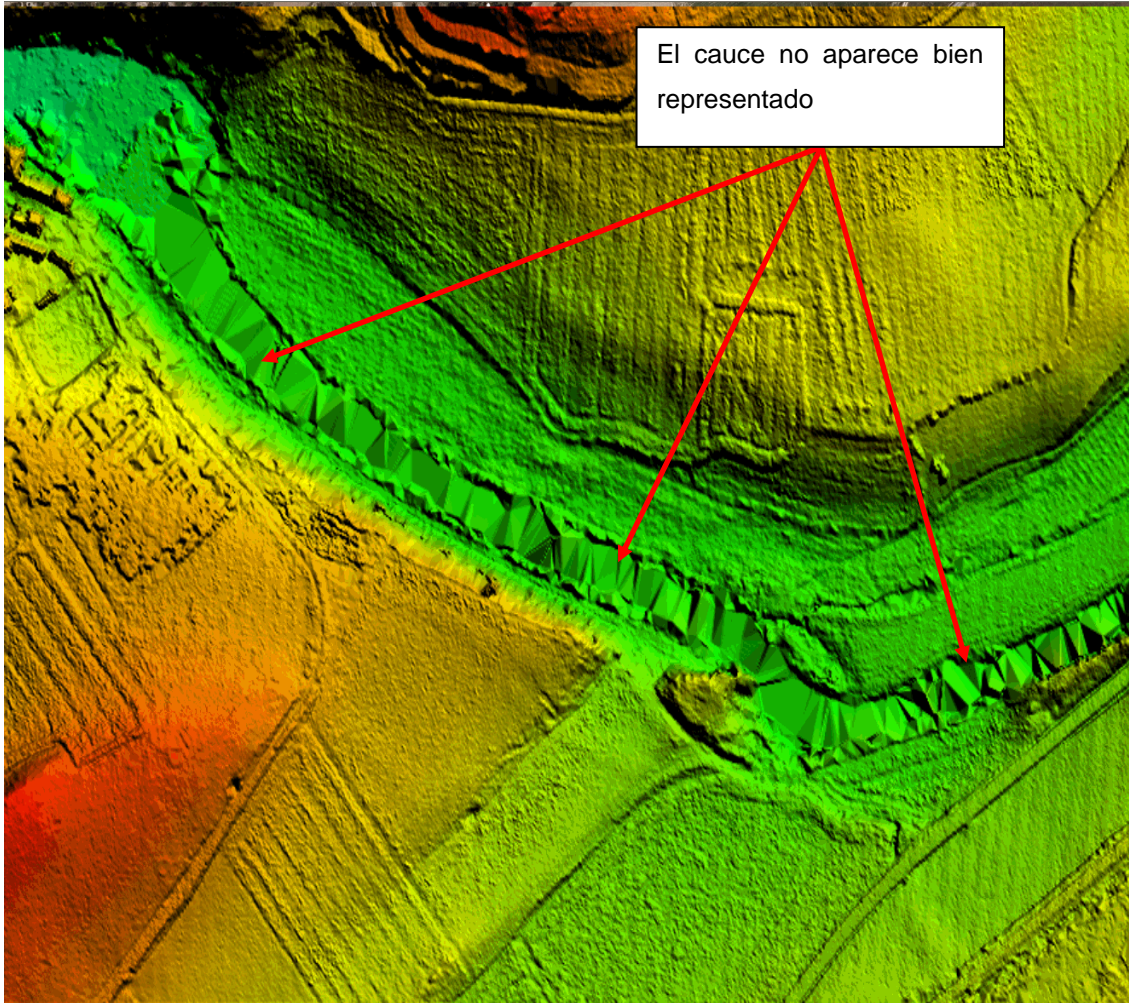


Figura 10. Ejemplo de MDE generado por la unión de varias hojas en formato \*.ASC.

Aunque en la imagen anterior se aprecia que el cauce del río no está bien representado, no se puede cuantificar el error que existe, por ello y para una mejor comprensión del MDEH se genera un curvado automático del mismo cada 0,2 metros y se visualiza referenciado a la ortofoto.

Al cargar la ortofoto en el GIS, visualmente se “tapa” la representación gráfica del MDEH, pero éste sigue estando cargado y se puede consultar la cota de cualquier punto o realizar cualquier tipo de perfil.

Como se muestra en las siguientes figuras, visualmente se aprecia la representación del río, pudiendo distinguir tanto las zonas en las que el río aparece bien representado, como aquellas en la que la representación es escasa o defectuosa.



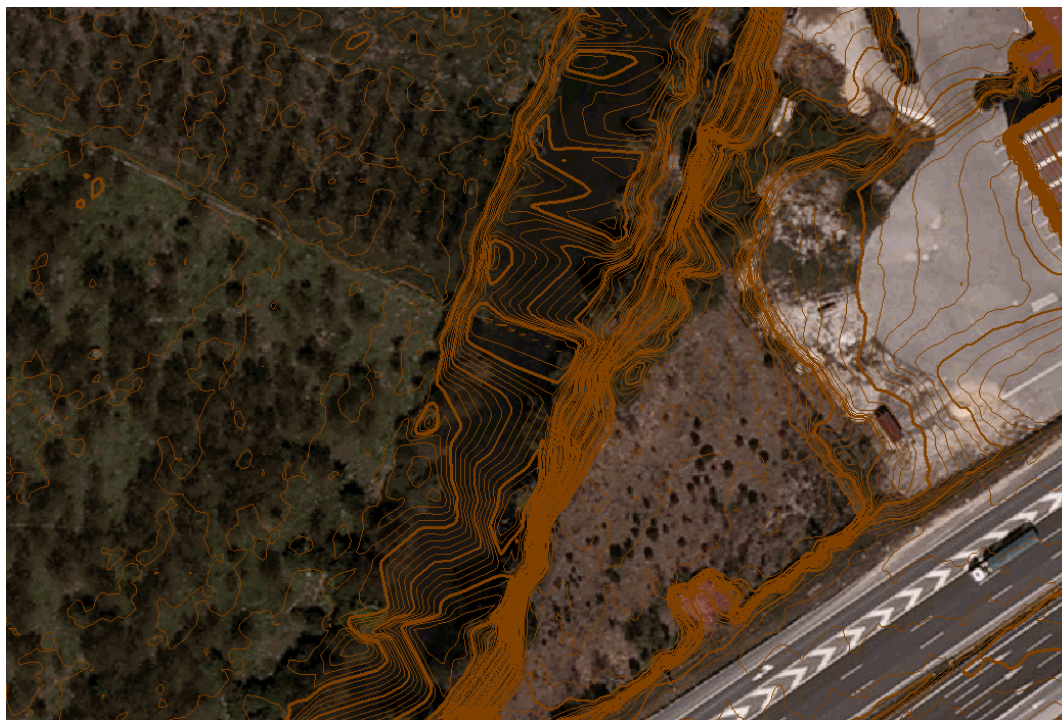


Figura 11. Curvado del MDEH sobre ortofoto. Zona donde el río está mal representado.

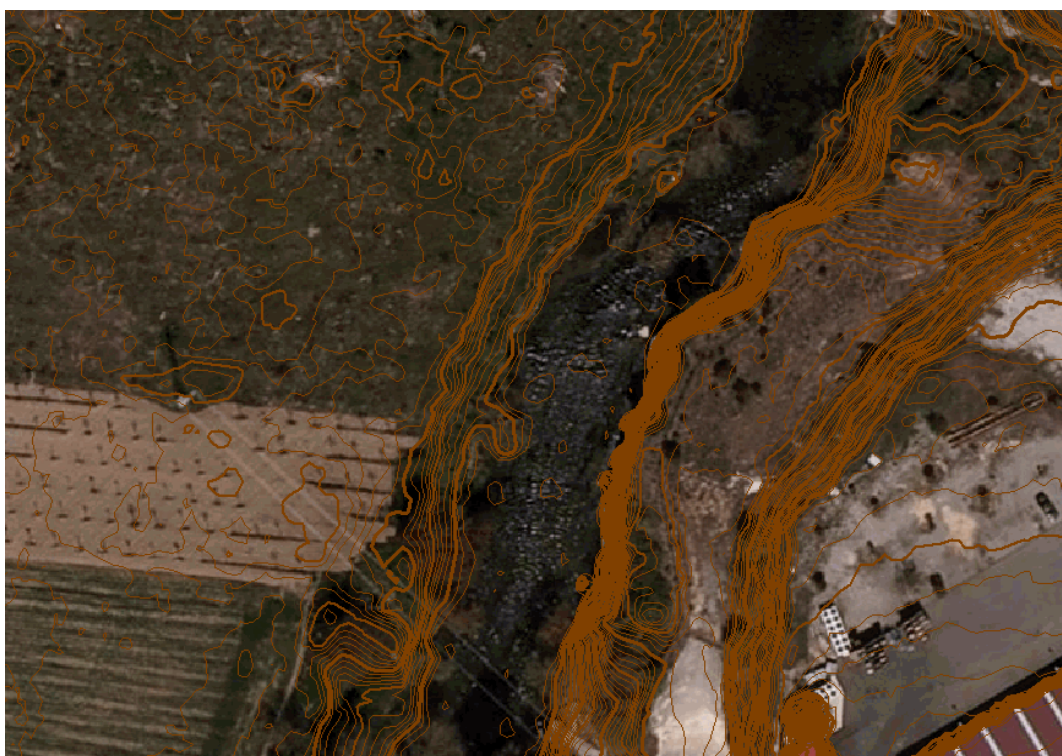


Figura 12. Curvado del MDEH sobre ortofoto. Zona donde el río está bien representado

De un primer análisis se obtiene que el MDEH existente no representa correctamente los márgenes de los ríos. Tampoco muestra si el cauce está bien representado ya que se sabe que el LÁSER del sensor LIDAR utilizado, no penetra en el agua nada más que unos 10 ó 20 cm. Además el MDEH no muestra si el sensor midió o no puntos del fondo del cauce.

Por todo ello se ha tenido que trabajar con la nube de puntos bruta del vuelo LIDAR, utilizando los ficheros \*.LAS originales existentes.

Para ello se superponen en el GIS sobre las ortofotos la nube de puntos existente, representándose dichos puntos en base a su valor de clasificación.

Los valores de clasificación están establecidos por la ASPRS y son los siguientes:

Valor de clasificación	Significado
0	Created, never classified
1	Unclassified*
2	Ground
3	Low Vegetation
4	Medium Vegetation
5	High Vegetation
6	Building
7	Low Point (noise)
8	Reserved
9	Water
10	Rail
11	Road Surface
12	Reserved
13	Wire – Guard (Shield)
14	Wire – Conductor (Phase)
15	Transmission Tower
16	Wire-structure Connector (e.g. Insulator)
17	Bridge Deck
18	High Noise
19-63	Reserved
64-255	User definable

Tabla 4. Valor de clases de puntos LIDAR según el estándar de la ASPRS

En los siguientes ejemplos se muestra la nube de puntos LIDAR, diferenciados por el valor de clasificación. El GIS nos permite elegir el color de representación de cada valor. En este caso la vegetación se ha representado en verde, los edificios en naranja y los puntos de suelo desnudo en marrón.

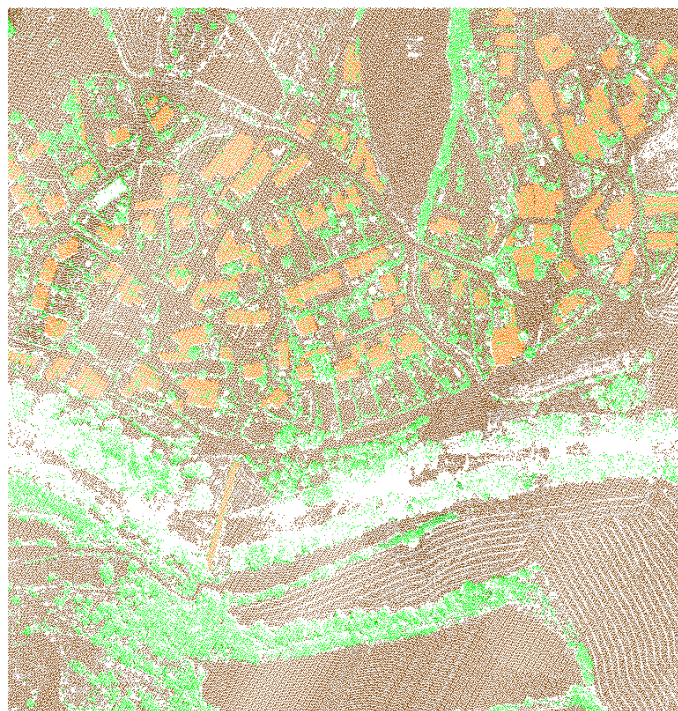


Figura 13. Nube de puntos LIDAR. Color en base al valor de clasificación.



Figura 14. Superposición de nube total de puntos LIDAR sobre ortofoto.

De cada punto del vuelo LIDAR se pueden obtener todos sus datos como se ve en estos ejemplos.

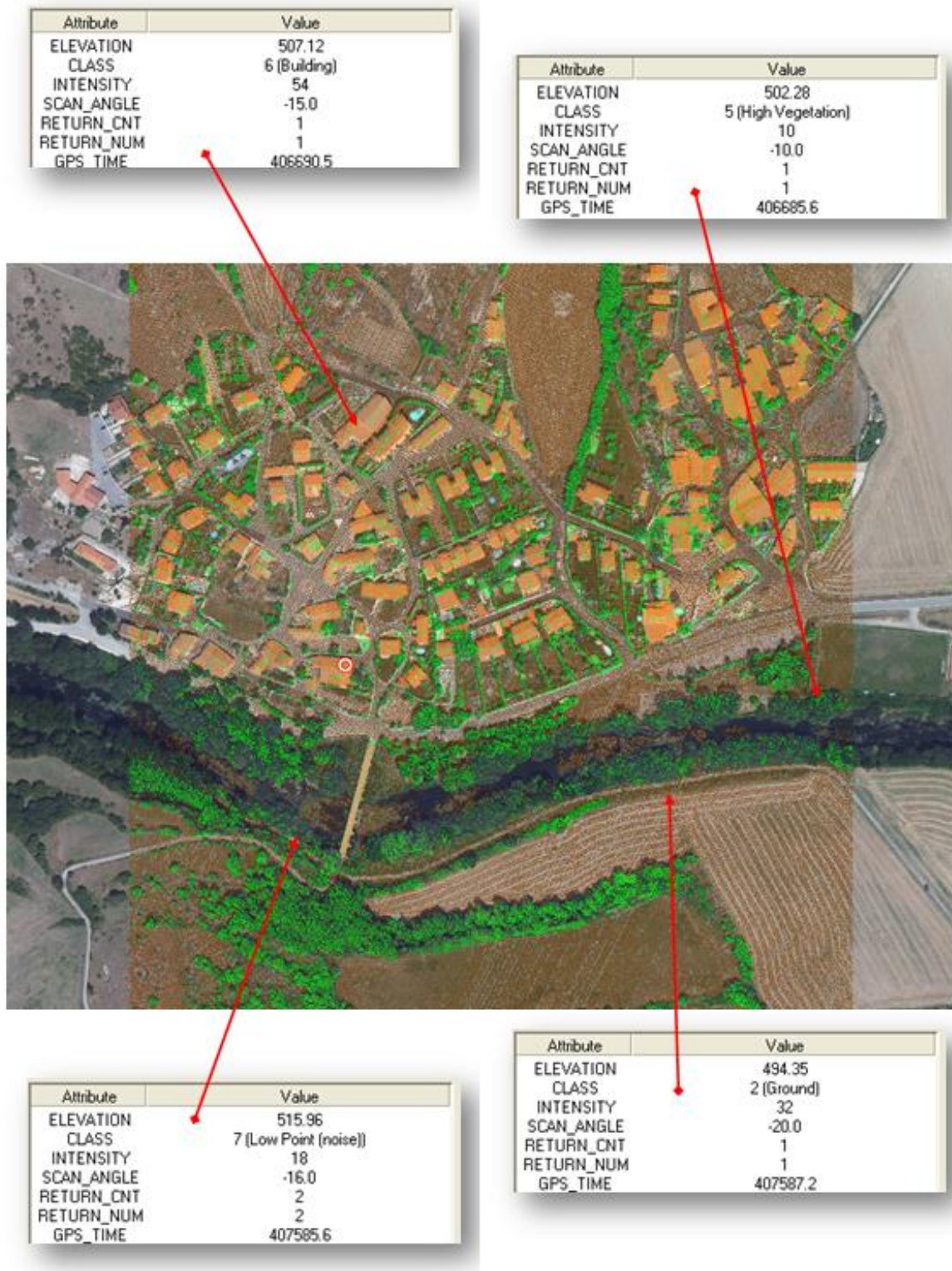


Figura 15. Ejemplo de ortofoto y nube de puntos LIDAR. Identificación de puntos.

Otra información que se contrasta son los puntos LIDAR clasificados como suelo (valor 2: ground), que son los que se han utilizado para la creación automática del MDEH.

Se realiza un filtrado por “clasificación” y se trabaja solamente con los puntos clasificados como suelo sobre la ortofoto; como se puede ver, existen puntos en zonas de arbolado y zonas sin puntos en las que deberían existir, ya que son zonas de suelo desnudo.

*Zonas revisadas sobre la ortofoto de la misma fecha que el vuelo LIDAR, donde se aprecia suelo desnudo y no existen puntos clasificados como tales.*

*Zonas revisadas sobre la ortofoto de la misma fecha que el vuelo LIDAR, donde se aprecia una zona arbolada y existen puntos clasificados como suelo.*



Figura 16. Ortofoto y nube de puntos LIDAR. Puntos clasificados como “Suelo”.

Posteriormente y con la ayuda del GIS, se junta la nube de puntos de suelo obtenida del fichero LAS con las curvas de Nivel, y de esta forma se puede apreciar si las zonas mal representadas son consecuencia de ausencia de puntos de suelo tomados por el LIDAR, o de puntos clasificados de manera errónea, que han dado lugar a un MDEH que no representa los cauces de los ríos correctamente.

Para ello, se realizan diferentes perfiles transversales; de esta forma se ven claramente las zonas en las que será necesario tomar datos de campo, o si por el contrario podemos utilizar puntos del LIDAR volviéndolos a clasificar de forma manual.

En las siguientes figuras se explican diferentes casos que se pueden encontrar:

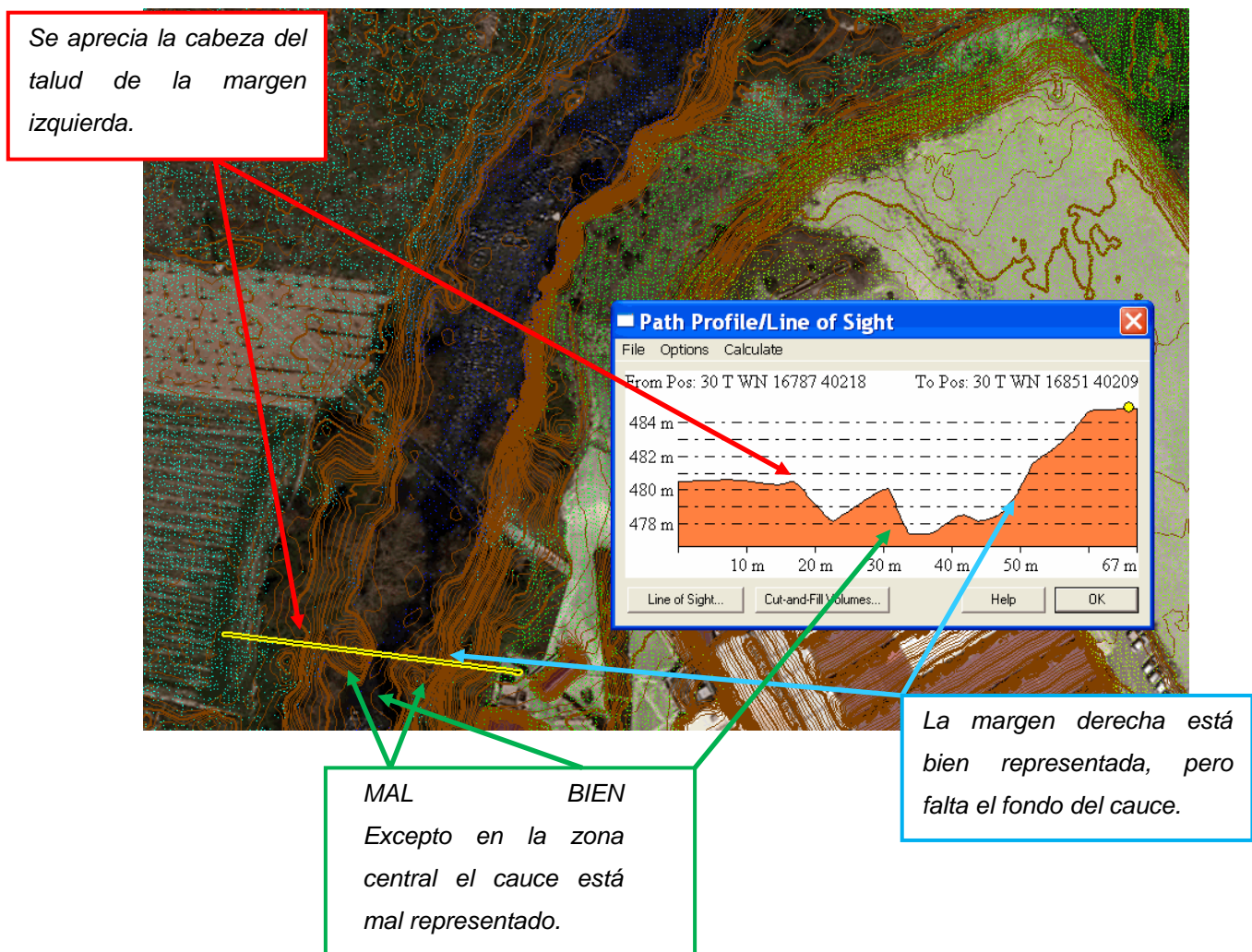


Figura 17. Nube de puntos LIDAR sobre ortofoto y curvado. Perfil con partes erróneas y válidas.

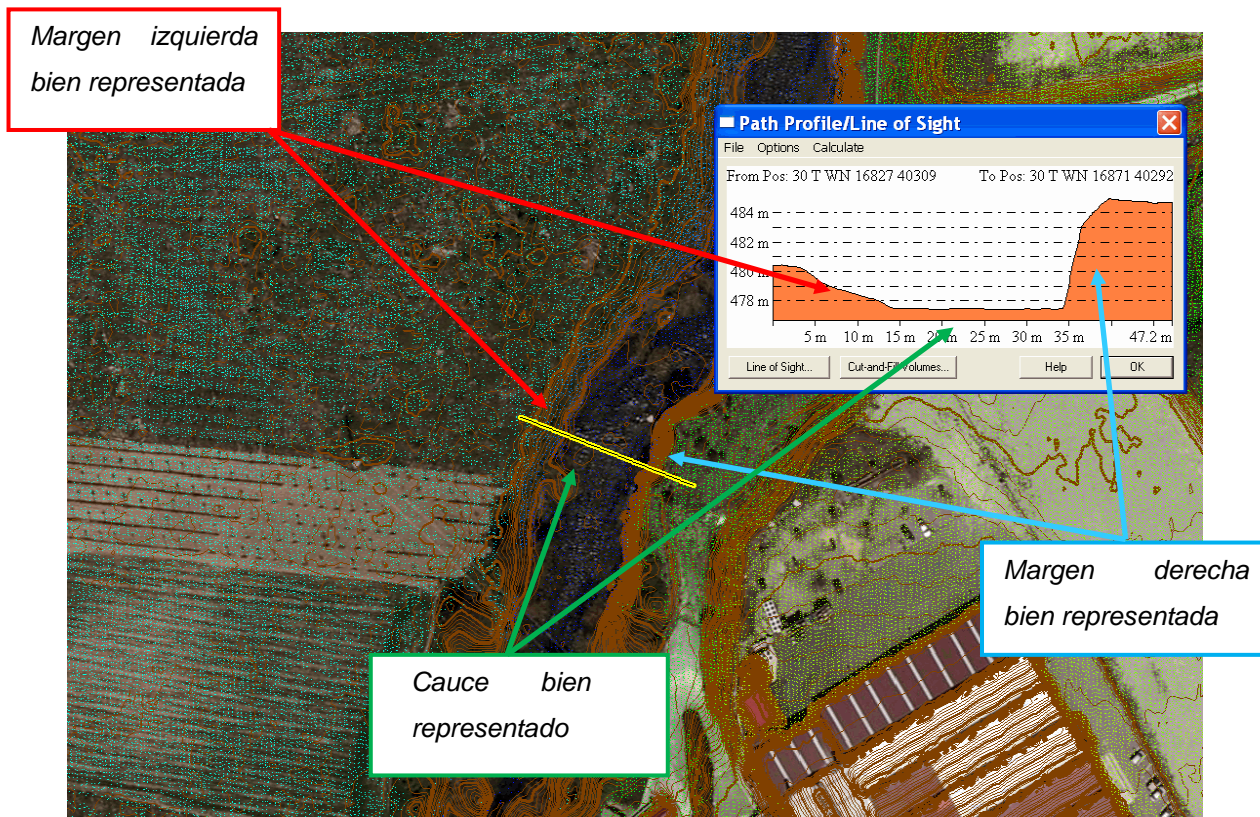


Figura 18. Nube de puntos de suelo LIDAR Sobre ortofoto y curvas de nivel. Perfil válido

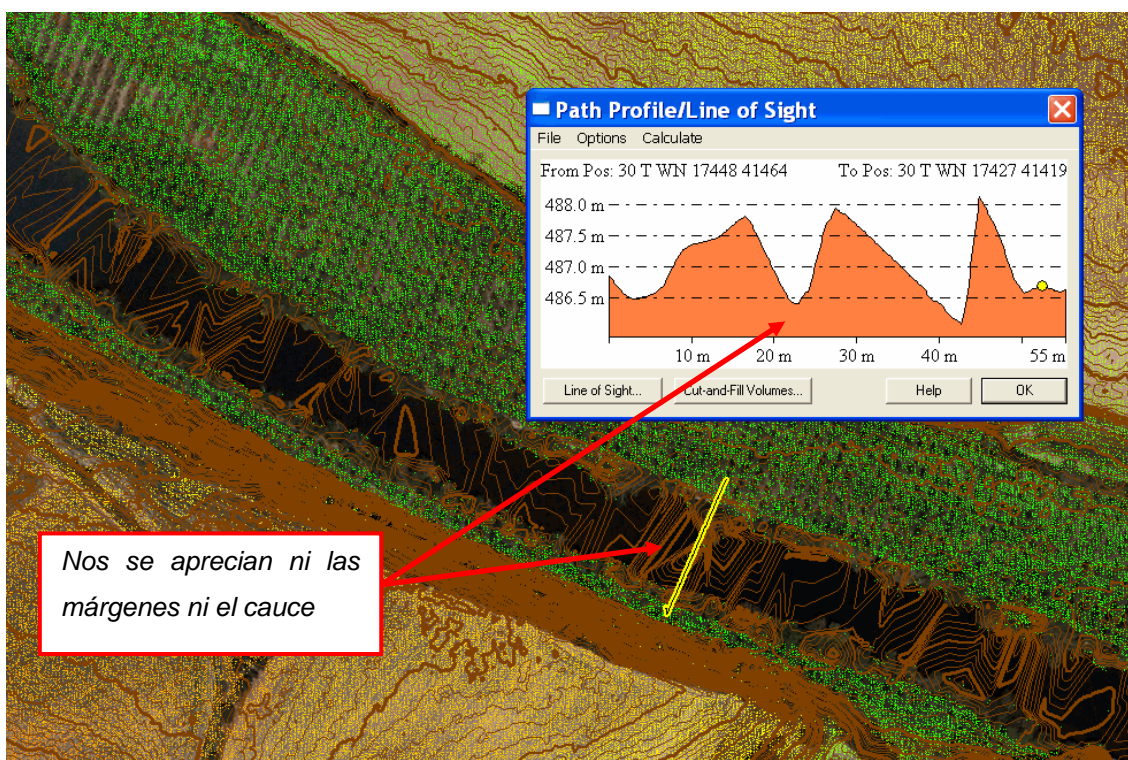


Figura 19. Nube de puntos de suelo LIDAR sobre ortofoto. Perfil erróneo.

Se certifica que el MDEH existente no representa correctamente los cauces ni los fondos de ríos. En muchos casos se debe a que no se utilizaron los puntos correctos para su creación ya que existen muchos puntos mal clasificados y en otros casos se debe a la falta de puntos donde el sensor LIDAR no puede medir.

Descubiertos los errores de clasificación que existen, se decide trabajar con la nube de puntos LIDAR bruta, para ello se validan diferentes perfiles con la ayuda de otras herramientas GIS que permiten ver la nube de puntos LIDAR proyectados en perfiles, De esta forma se pueden identificar inequívocamente si existen puntos mal clasificados que no se utilizaron para la generación del MDEH y puedan resultar válidos, o simplemente es una zona donde no existen puntos.

Para ello se pueden utilizar diferentes filtros de visualización.

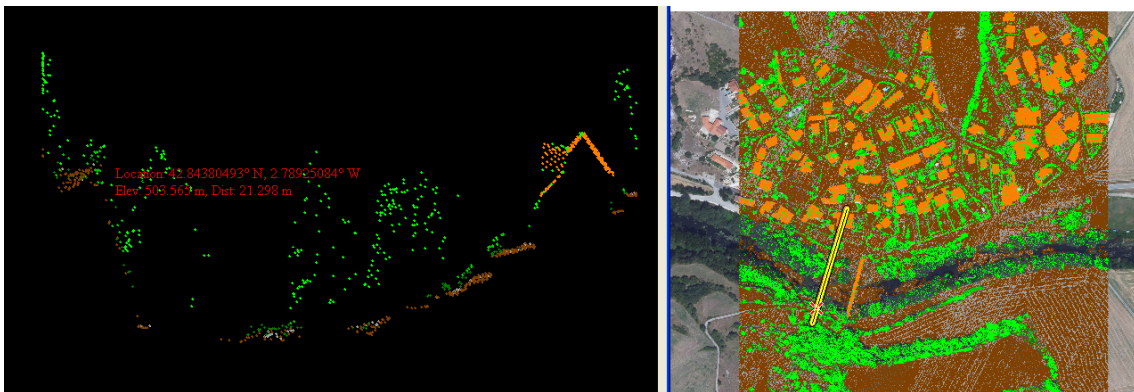


Figura 20. Perfil a partir de la nube de puntos LIDAR. Visualización según valor de clasificación.

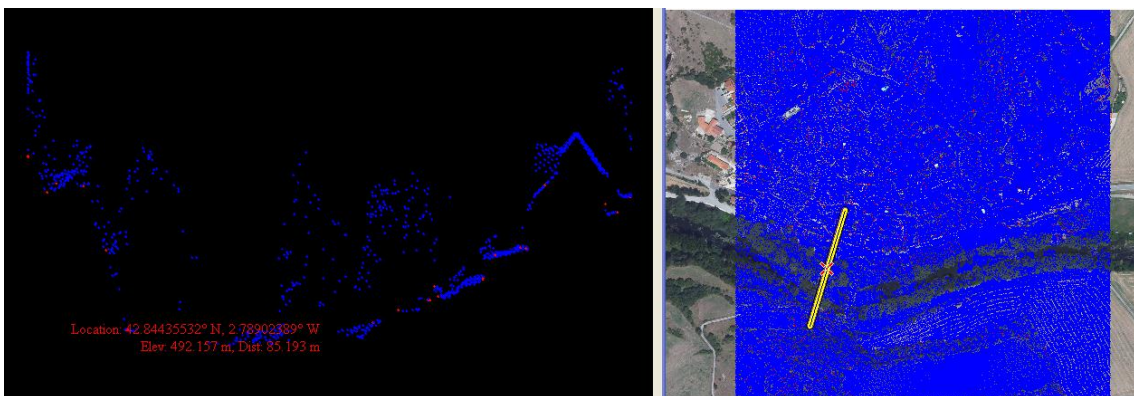


Figura 21. Perfil a partir de la nube de puntos LIDAR. Visualización según valor de nº de rebote

(Azul= Primer rebote      Rojo= 2º rebote)



El objetivo del trabajo es obtener un MDE continuo del cauce y fondo del río, que se elabora a partir de múltiples perfiles transversales. Muchos de los cuales se obtienen en gabinete a partir de los datos LIDAR brutos que no estaban bien tratados. En el resto de zonas en las que no existen datos LIDAR válidos, se tienen que tomar datos de campo.

Con las herramientas y metodología expuesta anteriormente, se eligen el número y posición de perfiles necesarios para caracterizar el cauce y completar la información LIDAR.

En el caso de los embalses o zonas de azudes que generan un remanso aguas arriba de los mismos y el calado de los ríos es significativo, se sabe que necesitan directamente un trabajo de batimetría para caracterizar el fondo. Para el análisis de estos casos, se carga en el GIS los datos brutos del vuelo LIDAR. Si el nivel del embalse estaba “bajo” en el momento de la medición, el LIDAR habrá medido las zonas de las márgenes del embalse que no estaban inundadas.

Se sabe que el sensor LIDAR utilizado no ha penetrado en el agua, pero en muchos casos si puede haber rebotado en la lámina de agua, por ello se comprueba la cota de la lámina de agua (en el caso de que exista rebote en el agua) o la del punto de suelo más próximo a la zona identificada en la ortofoto como “agua” y que está sin datos LIDAR.

De esta forma se calcula hasta qué cota de terreno existen datos en el MDEH y se planifican los trabajos de batimetría del embalse, en una fecha en la que la cota de la lámina de agua del embalse esté por encima de dicha cota, para que, en el momento de realizar la medición se garantice un solape entre los datos existentes medidos por el LIDAR y los datos de fondo obtenidos mediante batimetría, tal y como se muestra en las siguientes figuras:

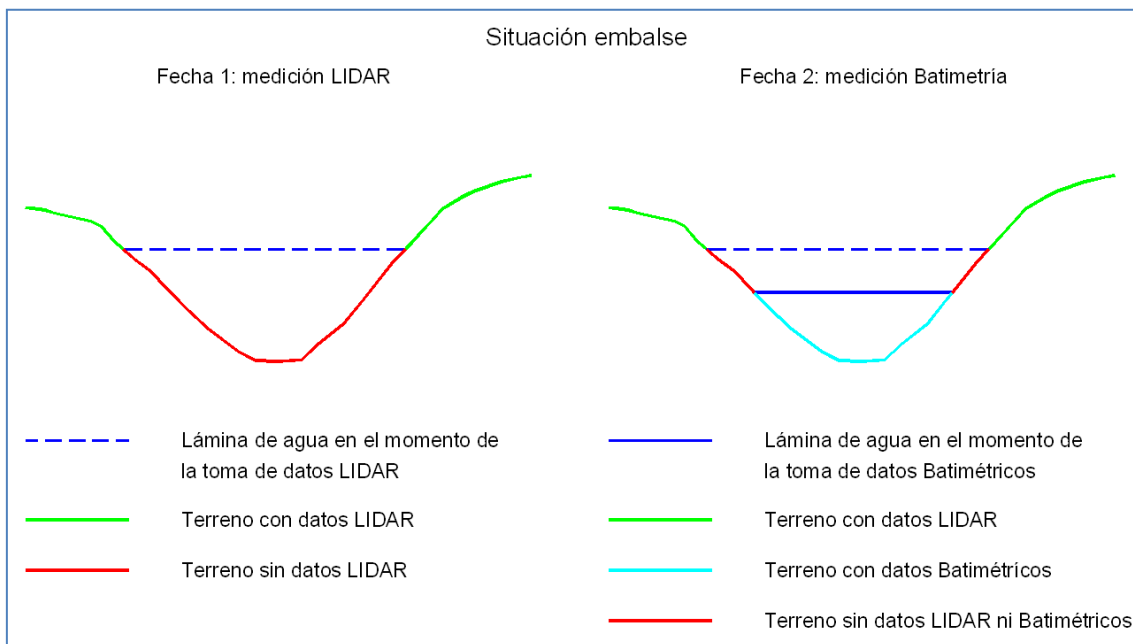


Figura 22. Elección de cota de embalse para hacer la toma de datos de Batimetría. Incorrecta.

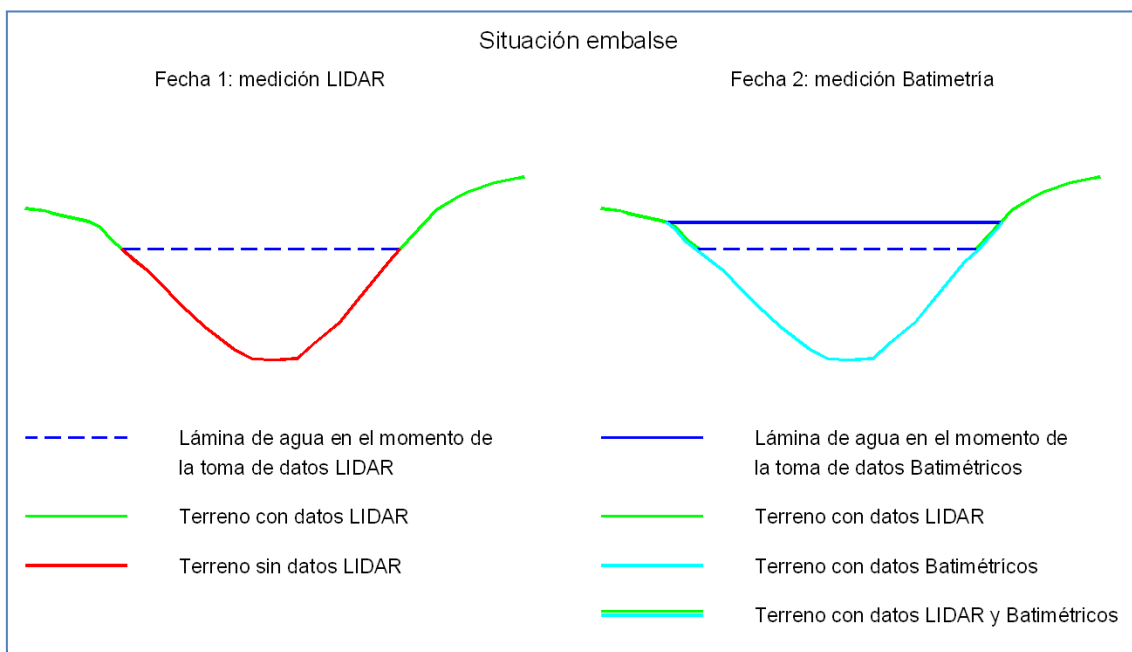


Figura 23. Elección de cota de embalse para hacer la toma de datos de Batimetría. Correcta.

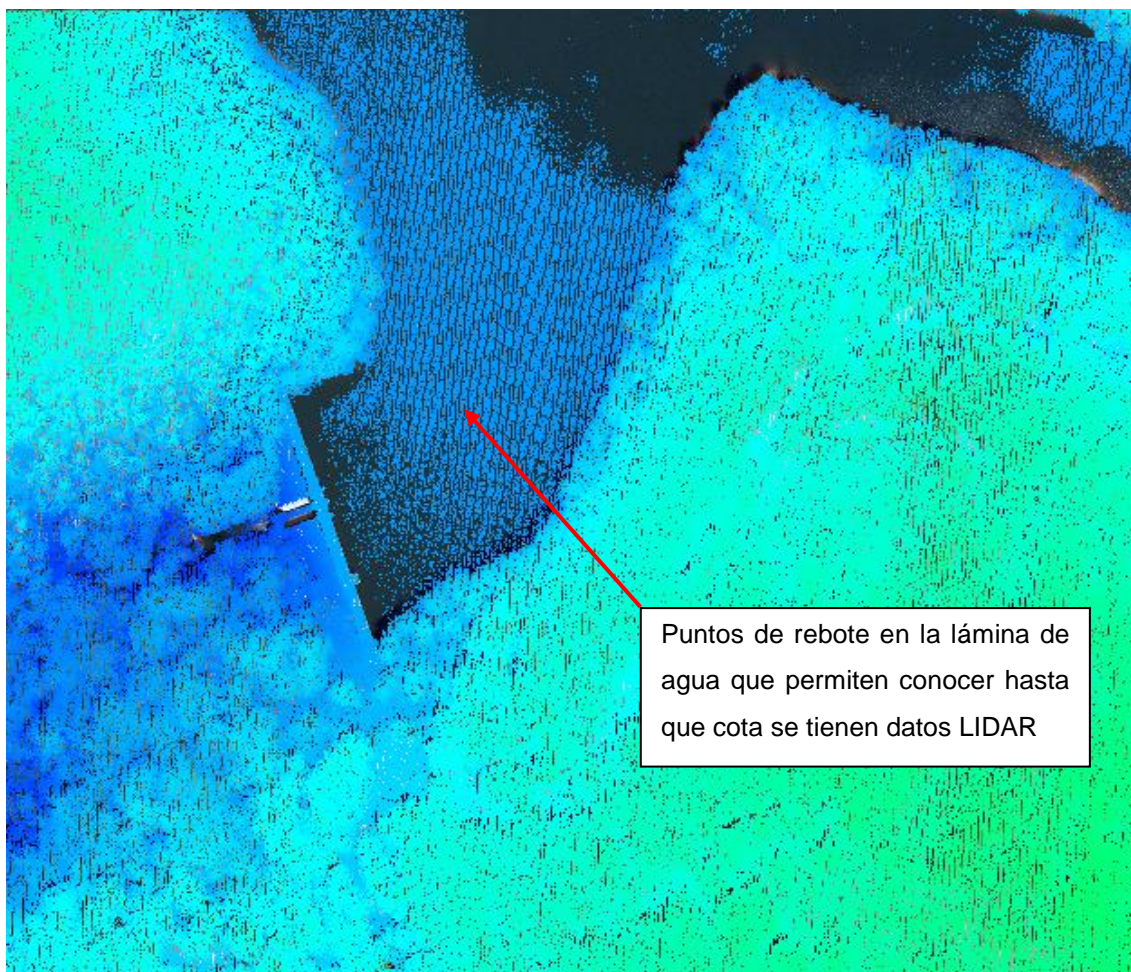


Figura 24. Ejemplo de ortofoto y nube de puntos total LIDAR en un embalse.

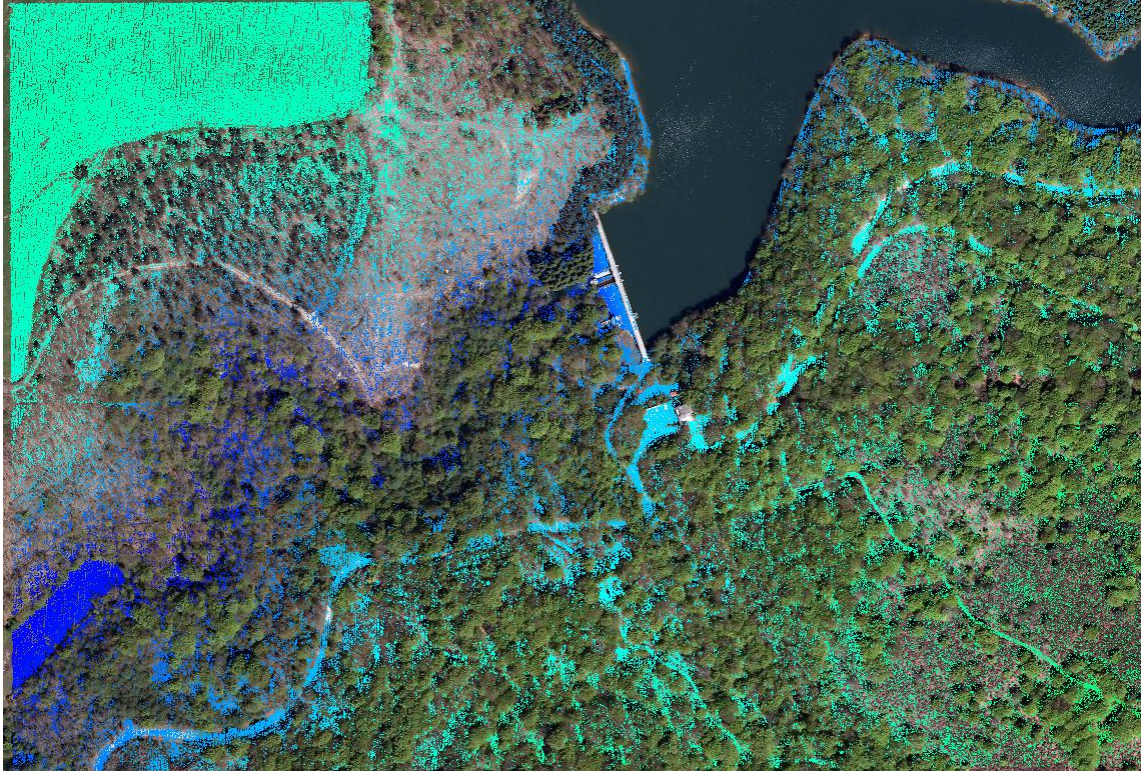


Figura 25. Embalse de Albina: ortofoto y nube de puntos de suelo del vuelo LIDAR.

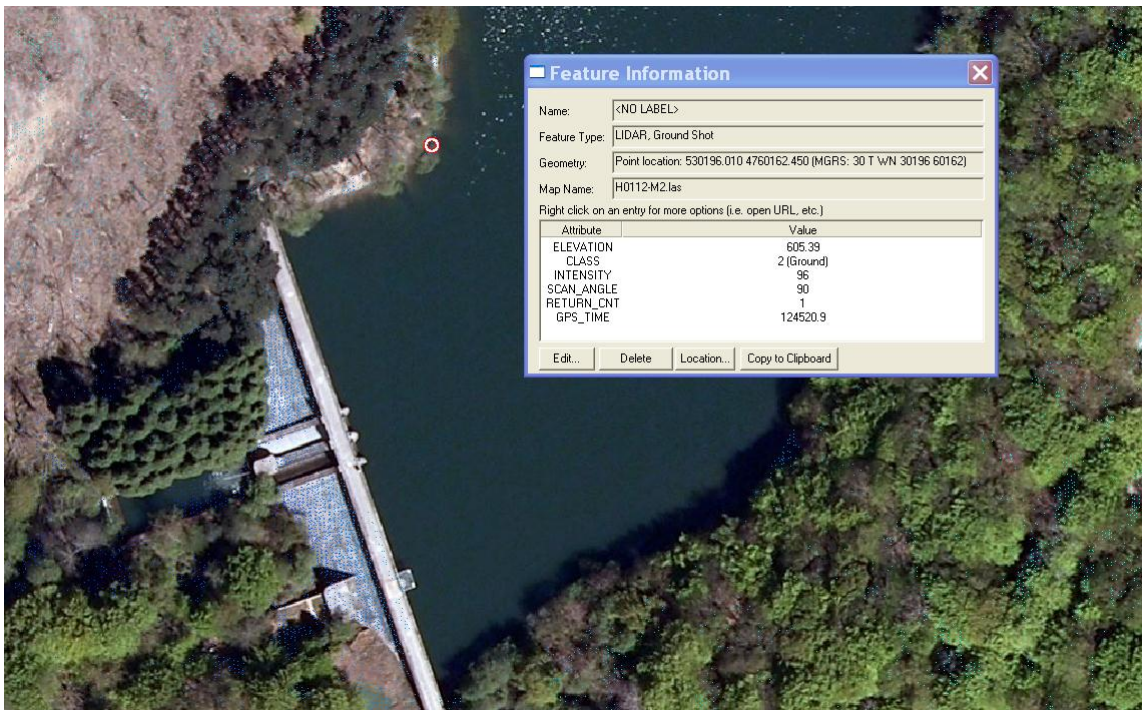


Figura 26. Obtención de cota para planificar la fecha a realizar batimetría.

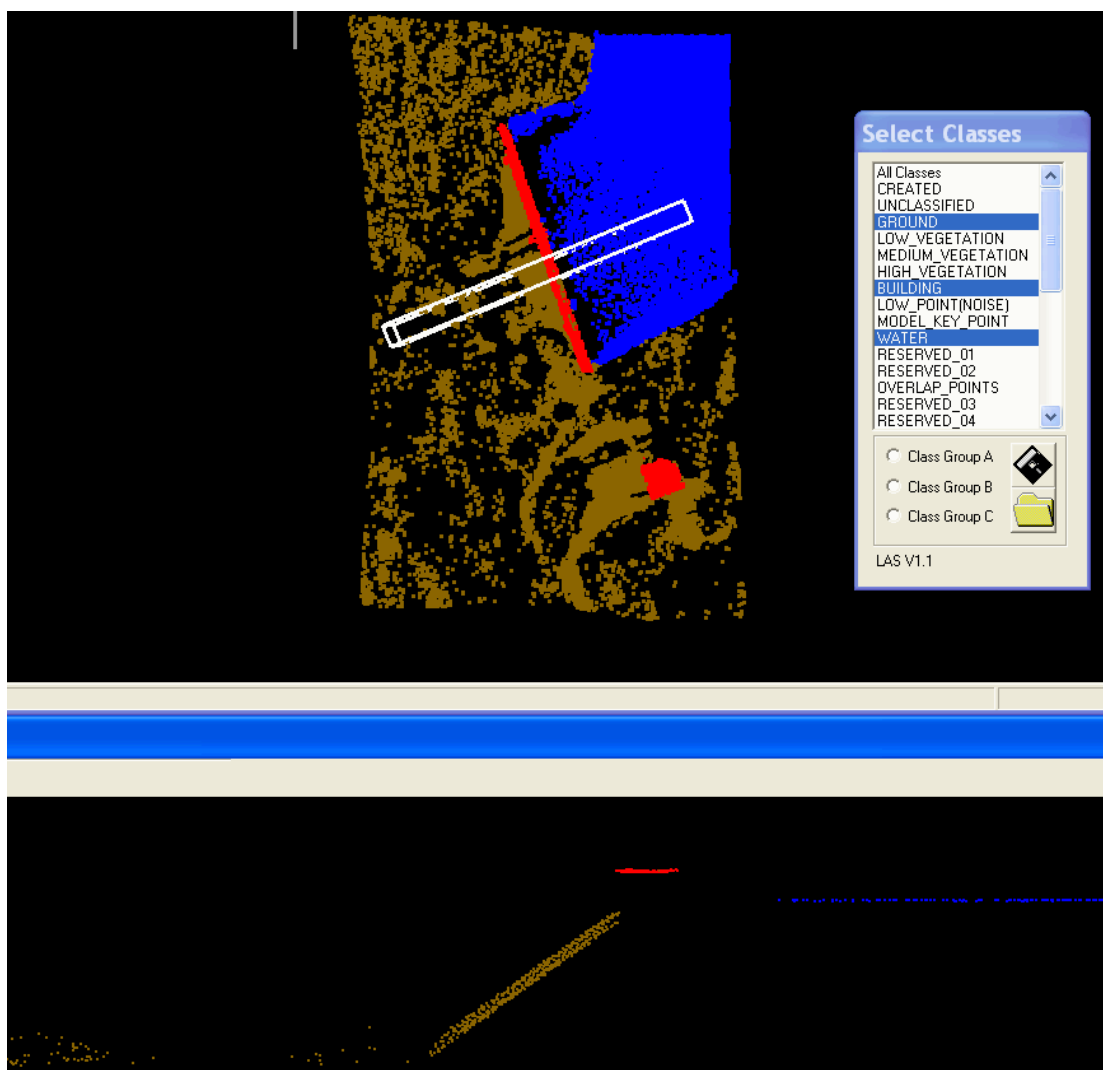


Figura 27. Ejemplo de perfil cortando puntos de rebote en el agua. Batimetría Embalse.

**En resumen**, con la metodología y herramientas expuestas se consigue identificar las siguientes zonas de río, con diferentes necesidades de actuación:

ZONA DE RÍO	MOTIVO DE NECESIDAD DE ACTUACIÓN
Zonas sin datos de fondo de ríos	Debido a que el LIDAR no mide debajo del agua; esto implica la realización de medidas directas del fondo del río (batimetría).
Zonas sin datos "Ground" (datos de suelo)	Debido a que el LIDAR no ha penetrado hasta el fondo; no existen datos que representen la verdadera forma del cauce y de la ribera del río y hay que realizar medidas campo.
Zonas con datos LIDAR mal clasificados	El MDEH inicial se ha generado de forma automática con los datos clasificados como "ground", si estos puntos están mal clasificados se pueden introducir datos de vegetación como puntos de suelo o incluso omitir puntos válidos al no tener la clasificación correcta; esto implica que el MDEH no asegura la verdadera forma del la ribera del río.  En estos casos concretos se pueden obtener unos perfiles del río válidos en gabinete a partir de los datos LIDAR existentes.
Zonas de puentes eliminados de forma manual muy agresiva	El MDEH por definición no tiene que representar los puentes sobre el cauce del río, en muchas ocasiones se han eliminado del MDT original de forma manual, destruyendo información del cauce que era correcta; esto implica la reconstrucción de estas zonas a partir de los puntos LIDAR existentes o mediante mediciones topográficas en campo.

Tabla 5. Zonas de río con necesidades de actuación sobre el MDEH existente

### **Diseño final del trabajo de campo**

Una vez definido el trabajo de campo a realizar en cada zona, se plasma la campaña de Trabajo en campo en planos. En estos planos se representan las diferentes actuaciones diferenciando entre:

- Revisión y comprobación de los planos de estructuras sobre el cauce existentes (realizados por la empresa Ingeniería Cartográfica GAROA S.L. en contratos anteriores).
- Revisión y comprobación de los perfiles transversales de río (realizados por la empresa Ingeniería Cartográfica GAROA S.L. en contratos anteriores).
- Nuevas estructuras sobre el cauce que es necesario medir.

- Nuevos perfiles de río (se marca zona y densidad).
- Zonas con necesidad de batimetría continua (Zonas de río con influencia de azudes, estuarios, embalses, etc.)

Toda esta información se trata con un GIS y se presenta en formato digital (\*.SHP). Los datos gráficos llevan asociados información de la zona de actuación, tipo de actuación, identificador de elemento, etc. Esto permite el recuento inmediato del trabajo a realizar y su posterior seguimiento. Dicha campaña se entrega a URA para su aprobación.

Una vez aprobada la campaña de trabajo, estos datos se introducen en los equipos GNSS con los que se realizará la toma de datos en campo, de tal forma que los equipos de campo podrán realizar las mediciones necesarias en las zonas marcadas de forma inequívoca.

### 3.2.- Fase 2: Trabajos de campo (Topografía Y Batimetría)

Todos los trabajos de campo están encaminados a la obtención de coordenadas de puntos en el mismo sistema de referencia que los datos LIDAR existentes.

Por ello, todas las coordenadas se calculan en proyección UTM Huso 30N (sobre sistema de referencia ETRS89) y cota ortométrica referida a la nueva REDNAP (modelos de geoide EGM08-REDNAP).

Como bases de partida para el cálculo de todos los puntos se utilizan las estaciones permanentes GNSS de la Red de Estaciones de Referencia GNSS de Euskadi.

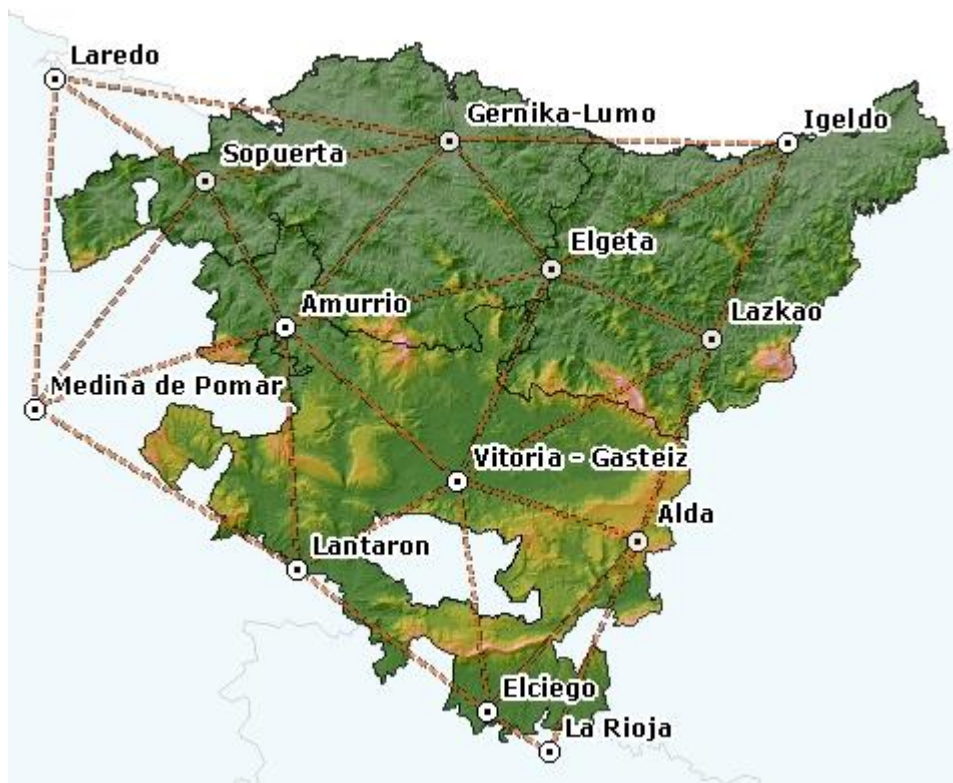


Figura 28. Mapa de la Red GNSS de Euskadi

La aproximación de coordenadas conocidas a la zona de trabajo, se realizará con receptores GNSS de la marca Leica, que permiten obtener puntos en Tiempo Real con una Precisión de 0,020 m.

Estos equipos están provistos de MODEM RTK y GSM, permitiendo la conexión directa con la Red GNSS de Euskadi, para la recepción de correcciones diferenciales en tiempo real.



Siempre que sea posible se utilizará la Conexión a la red GNSS a través de Internet, con las siguientes características:

Conexión necesaria en campo:	<b>GPRS/UMTS/EDGE</b>
URL:	<b>www.gps2.euskadi.net</b>
IP:	<a href="http://172.30.54.21/">http://172.30.54.21/</a>
Puerto:	<b>2101</b>
Protocolo:	<b>NTRIP</b>

Tabla 6. Datos de conexión a la red GNSS de Euskadi

Existen zonas con necesidad de toma de datos en campo, que se localizan en zonas sin cobertura de telefonía, y no se pueden recibir correcciones en tiempo real de la red GNSS de Euskadi. Para poder obtener coordenadas precisas de los puntos medidos, se estaciona un receptor GNSS que actúa como “Base Fija” grabando observaciones en método estático; al mismo tiempo emite correcciones RTK vía radio al resto de equipos.

Una vez en gabinete se descargan los datos RINEX de las observaciones en estático que han grabado los receptores fijos de la Red GNSS de Euskadi junto con las observaciones del receptor fijo estacionado en la zona de trabajo, y se recalcula la posición de todos los puntos medidos.

Toda la información de la red GNSS de Euskadi así como la obtención de datos RINEX aparece detallada en la siguiente dirección:

<http://www.gps2.euskadi.net/>

Para más información del proceso de trabajo en campo con el GNSS, se puede visualizar el video (parte 3) de la ponencia realizada en el Taller geoEuskadi el 13 de diciembre de 2013.

**<http://www.irekia.euskadi.net/es/news/17193-taller-geoEuskadi-red-gps-euskadi-gnss>**

## Taller geoEuskadi: "Red GPS de Euskadi/GNSS"

13 de Diciembre de 2013

Tags: geoEuskadi IDE Infraestructura de Datos Espaciales de Euskadi

COMPARTIR RSS DE COMENTARIOS ESCUCHAR LA PÁGINA

VÍDEOS FOTOS



### Fase 2.a Revisión y adecuación de estructuras y perfiles existentes

Cada equipo de campo (compuesto por un Ingeniero Técnico en Topografía y un auxiliar) se desplaza a cada una de las estructuras con datos existentes. Realiza fotografías actualizadas y comprueba los mapas existentes. Si se identifican y se encuentran las bases topográficas utilizadas para su levantamiento, se miden para su ajuste en cota, de no existir se miden puntos característicos.

Si en la revisión de campo se aprecia que la estructura ha cambiado con respecto al mapa existente, se mide de nuevo. La información de estructuras y perfiles existentes proviene de trabajos anteriores realizados entre los años 2.000 y 2.004. En este tiempo existen puentes que han desaparecido o se ha modificado su geometría.

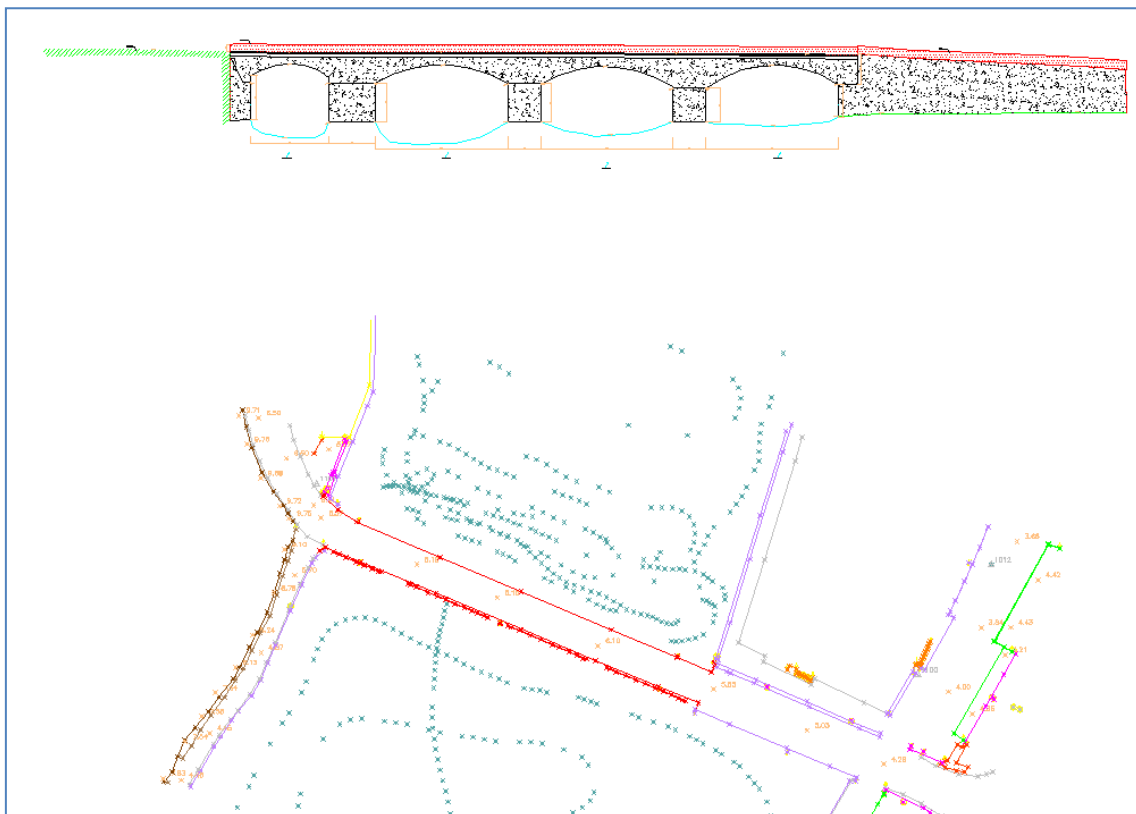


Figura 29. Ejemplo de estructuras existente a revisar. Planta y Alzado.

El trabajo de topometría se realiza por métodos de Topografía Clásica utilizando Estación Total con colector de datos para evitar errores de tecleo y aumentar el rendimiento. También se utilizan técnicas GNSS en tiempo real, así mismo cabe destacar la utilización de toma de datos codificada con posibilidad de generar auto-croquis y posterior dibujo automático de la minuta de campo. Destacar la posibilidad de medición de distancias con láser de los instrumentos topográficos empleados, lo que permite dar más puntos y con más seguridad en el caso de la medición de las secciones de las estructuras.

Se utiliza principalmente el método de radiación, se visa a una referencia para controlar que el aparato no se mueva. En los casos que se requiera se utiliza la cinta métrica.

El mismo procedimiento e instrumentación empleada para la revisión y medición de estructuras, se utiliza para la medición de puntos significativos de los perfiles transversales midiendo al menos 2 puntos de fondo y las cabezas de talud.

En los perfiles transversales que sea necesario medir de nuevo, se representan todos los puntos en los que aparezcan cambios de pendiente y accidentes con alturas relativas de más de 20 cm. Se tiene especial cuidado en medir la altura de muros que impidan el paso del agua.

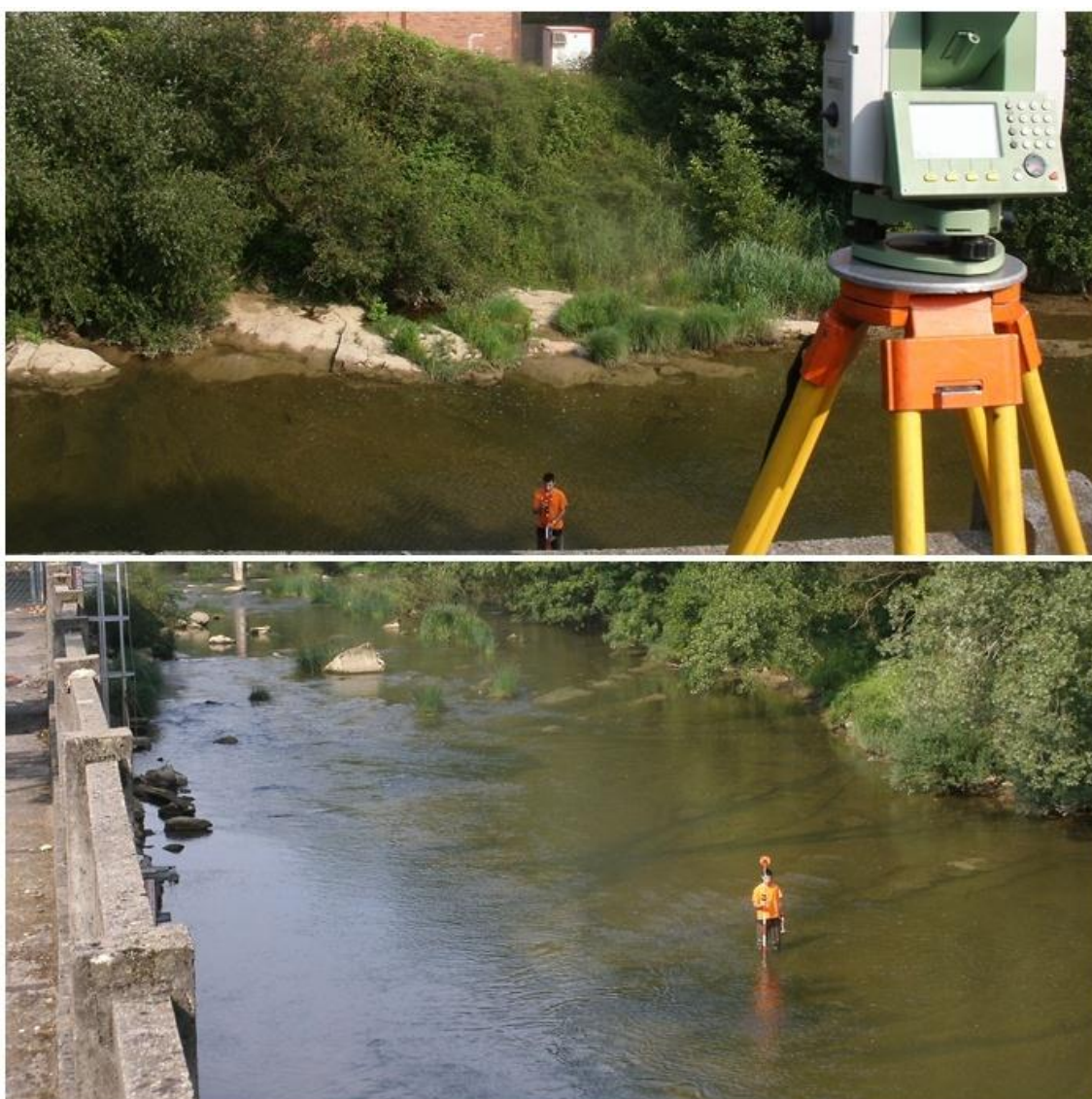


Figura 30. Ejemplo de medición de un perfil transversal existente con estación total

**Fase 2.b Topografía de estructuras nuevas.**

El equipo de campo se desplaza a cada una de las estructuras identificadas como nuevas. Realiza fotografías y el taquimétrico completo de la estructura y la parte de cauce situado bajo la misma. Se tiene especial cuidado en la sección de la misma.

Para la medición de estructuras nuevas, se utiliza el mismo procedimiento e instrumentación descrita en la fase 2.a.



*Figura 31. Ejemplo de medición de una estructura nueva con estación total*

**Fase 2.c Topografía nuevos perfiles de cauces (Ríos y Arroyos)**

Se distinguen 2 clases de perfiles transversales:

**Tipo 1 Completos:** Son los perfiles que se realizan en las zonas en las que el LIDAR no ha sido capaz de medir ni el fondo ni las márgenes del río.

**Tipo 2 Sólo Fondo:** Son los perfiles que se realizan en las zonas que la margen del río si está bien caracterizada a través de los datos LIDAR, pero sin embargo el fondo del río no.

En todos los perfiles se mide al menos la cabeza del talud de cada margen del río, y un punto exterior, así como los datos del fondo del lecho del río. Para la medición de los fondos en el caso de que los ríos permitan ser vadeados, éstos se medirán por métodos de topografía convencional (Estación Total o Receptores GNSS).

Cuando la configuración del río no permite vadearlo se realiza un levantamiento batimétrico como se describe en la fase 2D.



Figura 32. Ejemplo de perfiles realizados mediante GNSS-RTK vadeando el río.

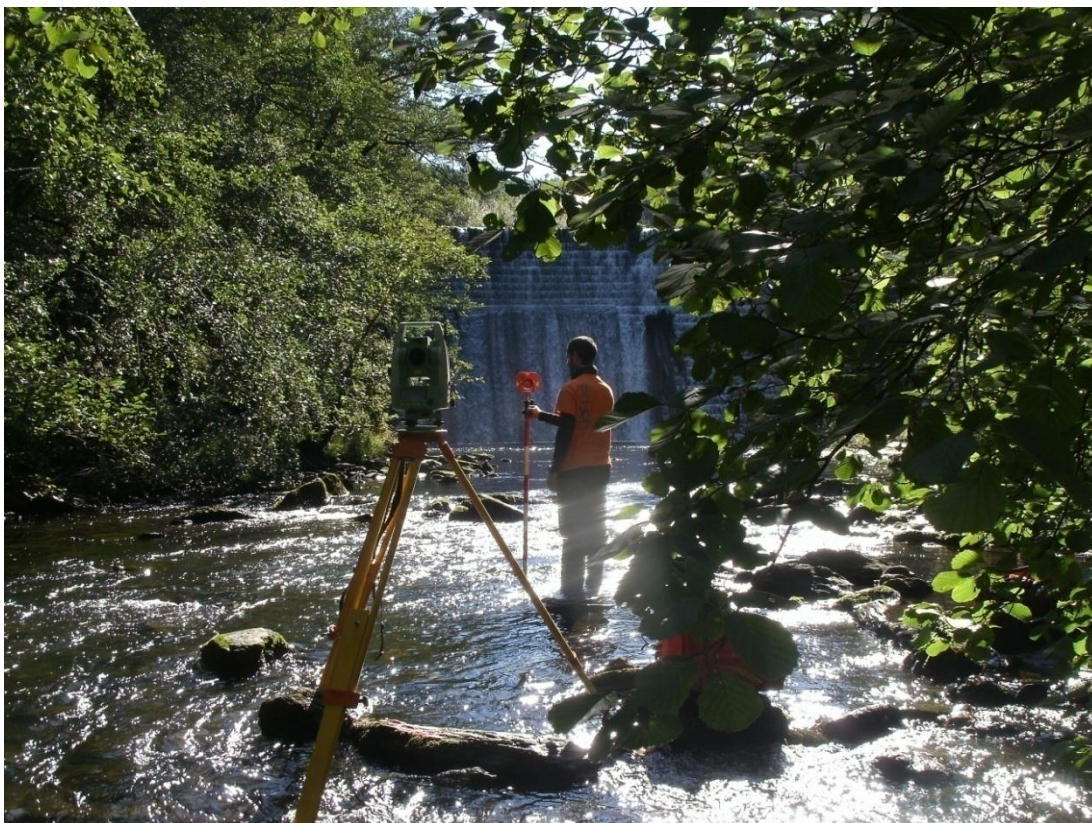


Figura 33. Ejemplo de perfiles realizados mediante estación total vadeando el río.

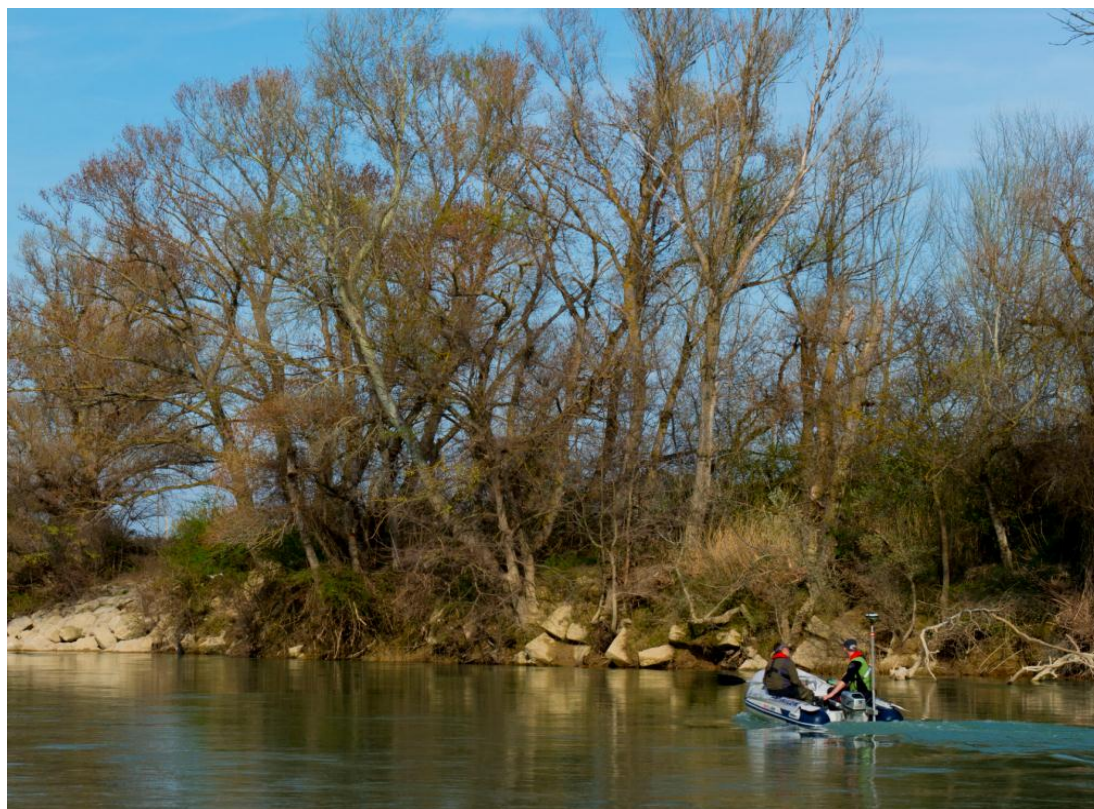


Figura 34. Ejemplo de perfil realizado mediante GNSS-RTK embarcación y ecosonda.

### **Fase 2.d Zonas de Batimetría Continua (Embalses y Estuarios)**

En las zonas de batimetría continua o cuando la configuración del río no permita ser vadeado se realiza un levantamiento batimétrico utilizando una embarcación neumática. La embarcación se transporta desinflada, hasta los sitios de difícil acceso. Puede ir provista de motor fuera borda y remos para poder adaptar la navegación a la configuración de los ríos de bajo calado.

La embarcación va provista de un Ecosonda marca Reson equipada con transductor para 110 Mhz. y receptor GNSS de doble frecuencia marca Leica GX-1230 + (GPS y GLONASS). La posibilidad de medida de profundidad va desde 0,3 m. a 95 m.

El equipo es totalmente portátil y de reducidas dimensiones, pudiendo montarse en cualquier embarcación existente en la zona.

La Sonda y el receptor GNSS se encuentran conectados entre sí y también a un ordenador portátil que mediante un Software de navegación y registro de datos, permite sincronizar ambos equipos y registrar coordenadas XYZ del lecho, con un error inferior al 3% de la altura de columna de agua que sumerge el fondo medido.

La forma de conseguir una posición precisa del fondo es la siguiente: al mismo tiempo que se navega en la embarcación, existe una estación GNSS diferencial en tierra (colocada en un punto de coordenadas conocidas) que es la que transmite al equipo GNSS de la embarcación las correcciones diferenciales para la obtención de la XYZ instantánea correcta. Esta XYZ está referida a la antena del GNSS móvil que está en la embarcación. Como en todo momento, el transductor de la Sonda está a una distancia constante de la antena del GNSS móvil de la embarcación y la Sonda mide cada décima de segundo la distancia existente entre el transductor y el fondo, hay dos posibilidades de medida: el registro directo de puntos con el GNSS que a su vez importa el dato actual de profundidad como un atributo para luego realizar los cálculos precisos, o mediante el programa de navegación que se encarga de sincronizar los datos y al restar a la Z del GNSS móvil (la de la antena que está siempre fija) la distancia entre ésta y el transductor (punto origen de la medición de la profundidad) y la profundidad medida se estarán determinando las posiciones exactas del lecho.

El programa de navegación se encarga de guiar la embarcación para que la toma de datos se ajuste al perfil que queremos cartografiar.



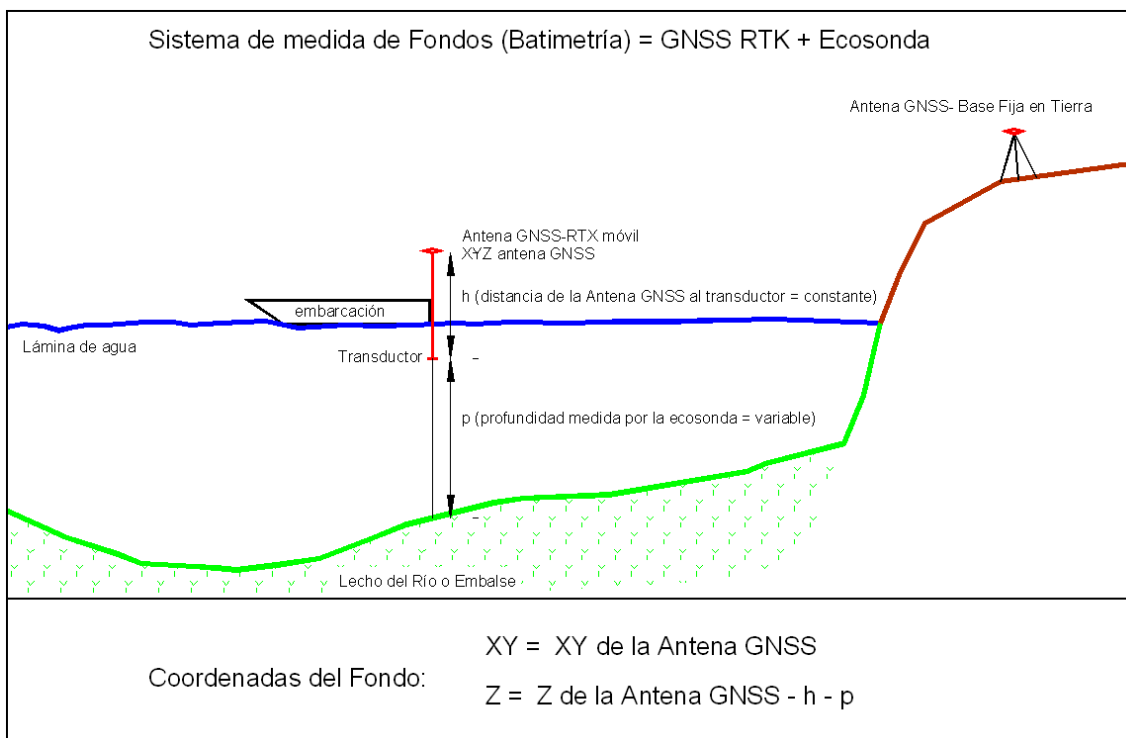


Figura 35. Esquema del sistema portátil de medición de Fondos (Batimetría).

Cuando la zona no permite el uso de GNSS, la filosofía del levantamiento es la misma que la descrita anteriormente, sólo basta con sustituir la antena GNSS por un Prisma topográfico de 360° y realizar la medida directa del mismo mediante topografía clásica. En este caso se utiliza una Estación Total Motorizada que sigue de forma automática al prisma.



Figura 36. Ejemplo de perfil realizado mediante Estación Total embarcación y ecosonda.

Cuando el número de puntos a medir no es muy grande y las profundidades son muy pequeñas, y para aumentar la operatividad, los puntos del fondo se medirán de forma directa desde la misma embarcación, apoyando directamente el jalón sobre el fondo pero provisto en su punta de una barra en forma de “T” que permita que no se hunda el jalón en el lecho del río.



*Figura 37. Ejemplo de perfil realizado mediante Estación Total embarcación y jalón.*

Finalmente, tanto por topometría como por batimetría, se obtiene un conjunto de coordenadas que permite completar el fondo de cualquier río.

Respecto a la toma de puntos de una batimetría continua con embarcación y ecosonda, se realizan una serie de perfiles transversales al “Eje” del río separados entre sí no más de 10 m. y con toma de puntos cada 3 m. en el sentido de cada una de las pasadas. Adicionalmente se realiza como mínimo una pasada en el sentido longitudinal del río para la obtención de puntos dobles y comprobación (toma de puntos cada 2 m.), realizando más pasadas si se considera necesario en base a los resultados obtenidos (ver croquis a continuación).

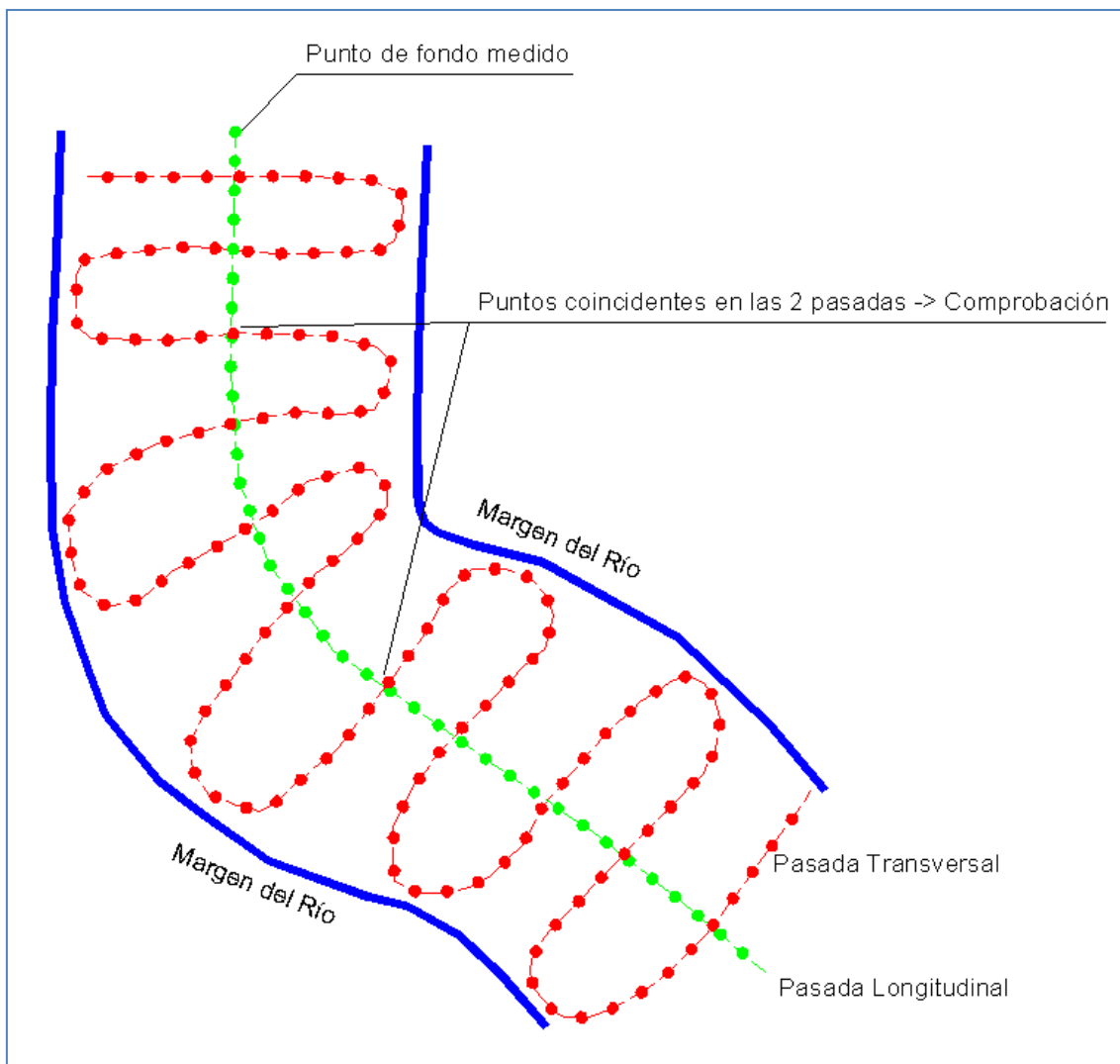


Figura 38. Esquema de trabajo para la realización de una batimetría de un río



Figura 39. Ejemplo de batimetría continua realizada mediante GNSS-RTK embarcación.

### 3.3.- Fase 3: Trabajos de Gabinete

#### Fase 3.a Cálculo y delineación de los datos de CAMPO

Todos los días se calcula en gabinete el trabajo de campo diario y se plotea para comprobar la bondad del dibujo automático, este ploteo se lleva al día siguiente a campo para completar datos si fuera necesario. Así mismo, se comprueban las coordenadas de los puntos radiados desde dos estaciones, para estos puntos se adopta su media aritmética (siempre que entren dentro de la tolerancia establecida). Los cálculos se realizan con el programa Leica GeoOffice, tanto en el caso de las observaciones GNSS como TPS.

Con las coordenadas calculadas se procede a realizar los siguientes trabajos:

- a) Mapa de las áreas cartografiadas, tanto de los fondos como de las márgenes, con la generación del MDE y superficie correspondiente. De estos mapas topográficos se pueden obtener los perfiles transversales inmediatamente anterior y posterior a las estructuras (puentes, azudes, coberturas...). Todos los mapas están en formato digital, con control y depuración de la información, se realiza un tratamiento topológico de los mismos con AutoCAD MAP para que estén listos para su incorporación a un SIG

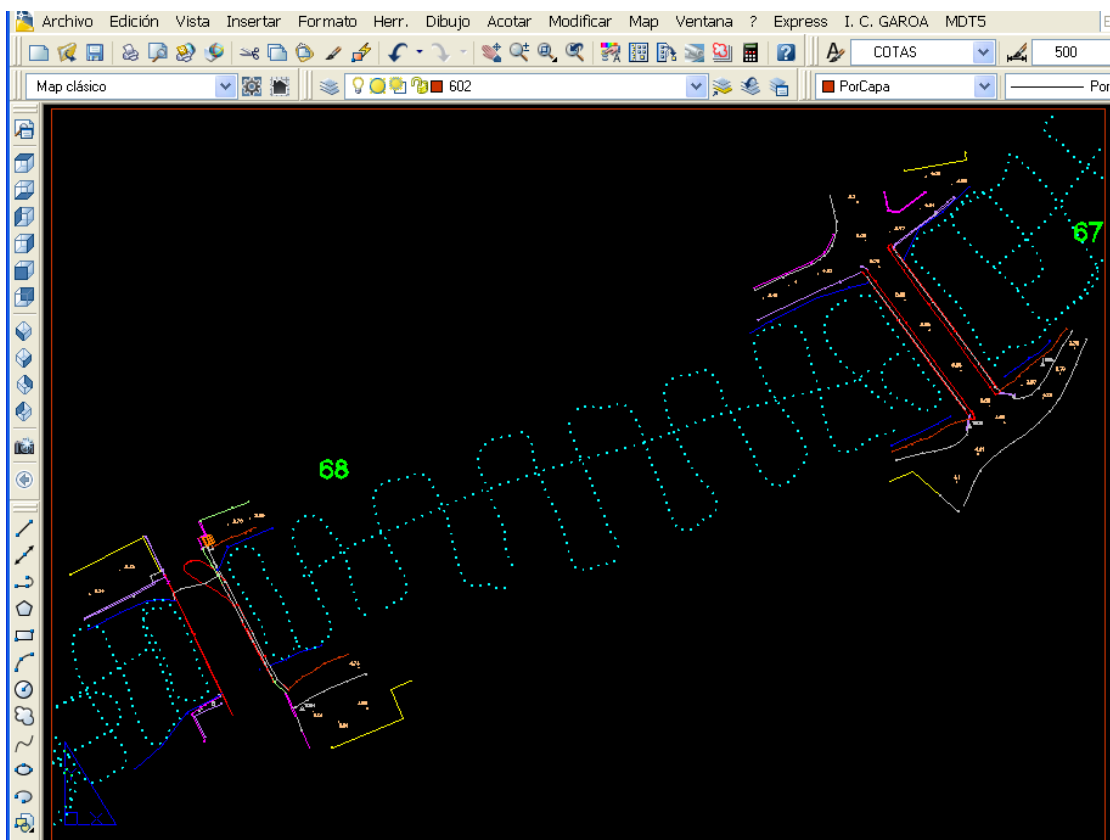


Figura 40. Ejemplo de mapa topográfico en CAD. Estructuras y batimetría del río.

- b) Cálculo de los perfiles transversales, generando un fichero con la definición geométrica de los mismos.

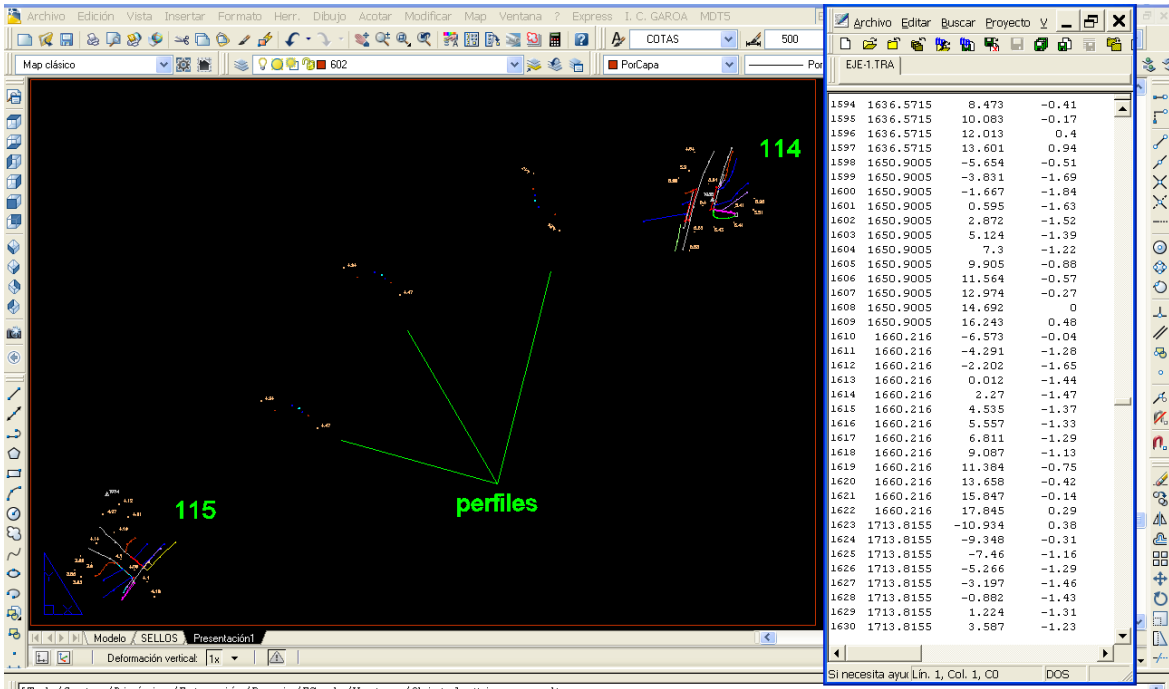


Figura 41. Ejemplo de mapa de perfiles transversales en CAD y fichero ASCII generado.

- c) Cálculo y dibujo de las secciones de los puntos singulares. Dichas secciones se dibujan a escala real y se presentan con rotulación de las cotas absolutas de sus puntos característicos; todo ello en formato \*.DWG de AutoCAD.

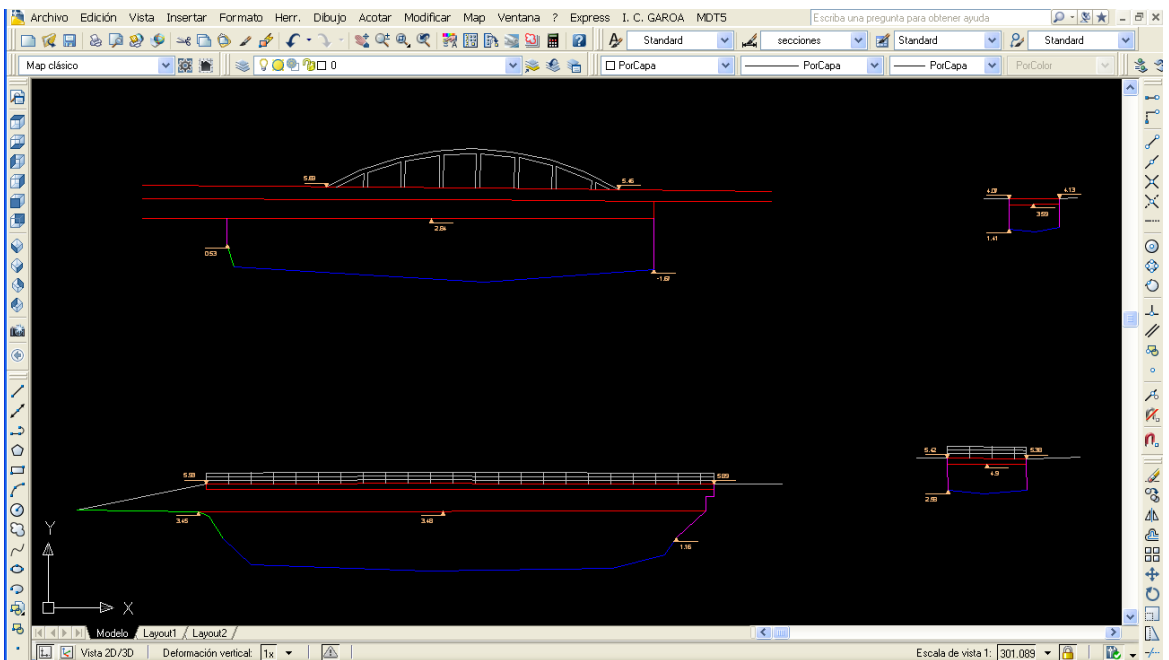


Figura 42. Ejemplo de plano de una sección de un puente

### **Fase 3.b Confección del MDE (TIN) de los cauces medidos**

La generación del MDE del cauce medido, se realiza a partir de los datos vectoriales que se obtienen en campo (líneas 3D, y puntos) creando una red irregular de triángulos, denominada TIN (Triangular Irregular Network).

Para ello se realizan una serie de procesos, con la ayuda de un SIG y del software Autocad CIVIL 3D. Todos estos procesos se detallan a continuación y se ilustran con ejemplos reales:



Figura 43. Situación de la zona de ejemplo: Río Baias (T.M. de Urbina Eza)

Se representa un MDE de la zona de actuación a partir de los datos del MDEH existente. Generalmente es necesario recortar o unir varios de estos ficheros para cubrir la zona de actuación.

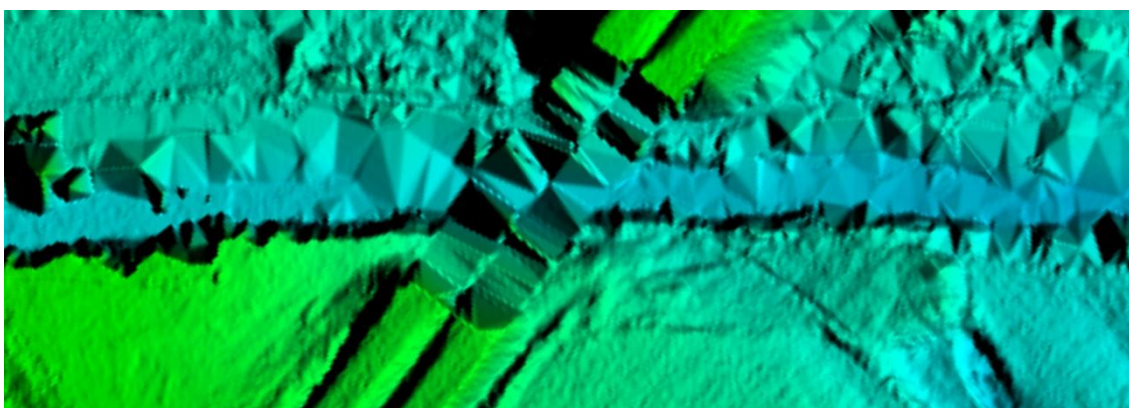


Figura 44. MDE de la zona, generado a partir de las Hojas 5.000 del MDEH existente.

Seguidamente se calculan y representan las curvas de nivel con una equidistancia de 0,2 m de una franja de un ancho variable, que normalmente se extiende 20 metros a cada lado de las supuestas márgenes del río.

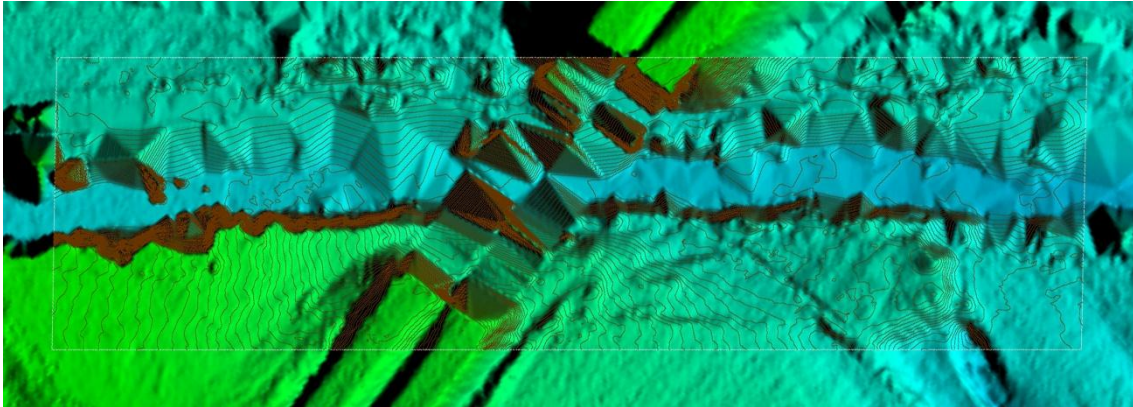


Figura 45. Curvado del MDE de la zona.

Se superpone el curvado obtenido con la ortofoto, el MDE no se visualiza pero continúa cargado.



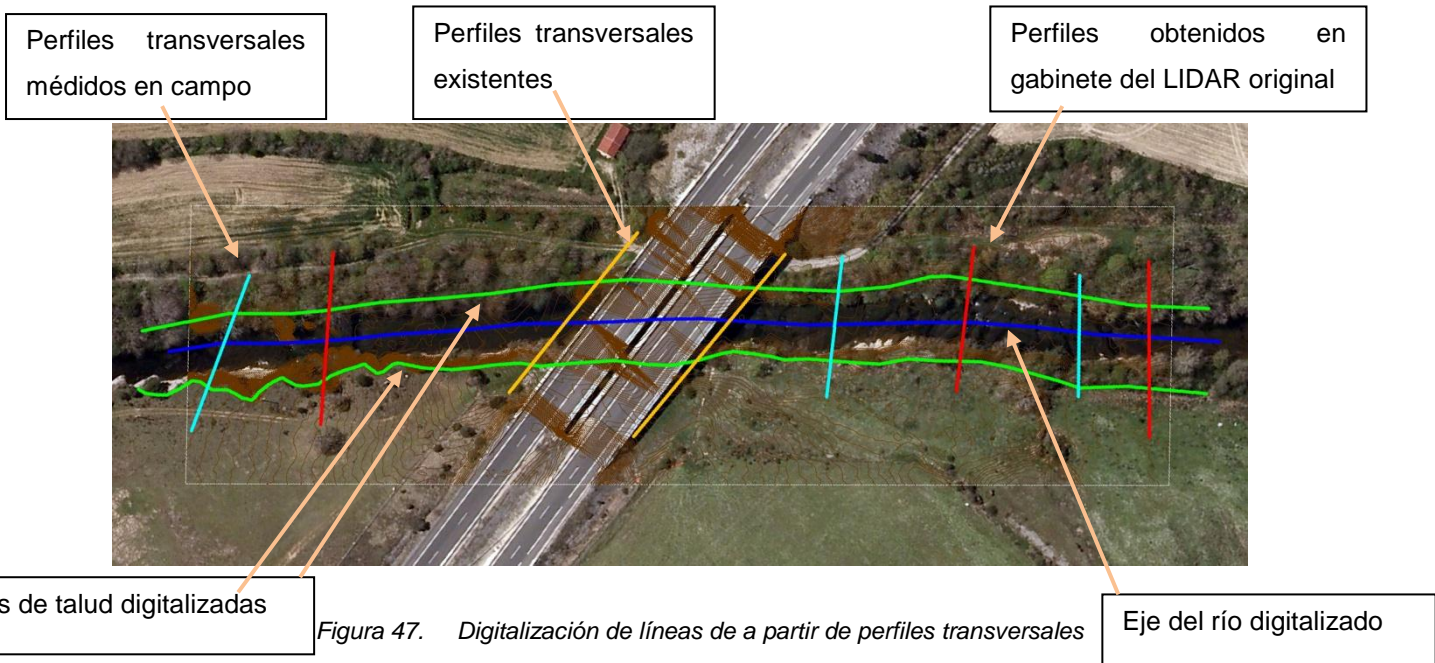
Figura 46. Curvado del MDE de la zona sobre ortofoto.

Se importan los perfiles transversales obtenidos en campo, los existentes válidos de estudios previos y los generados en gabinete a partir de la nube de puntos del fichero LIDAR original. También se importan los taquimétricos obtenidos en campo y los existentes válidos de estudios previos.

Sobre este conjunto de datos y en un sistema CAD/GIS, se digitaliza la línea de cabeza de talud del cauce, gracias a los puntos de los perfiles y taquimétricos. La polilínea tiene inicialmente cota en los vértices que coinciden con puntos, posteriormente se asigna al resto de vértices la cota del MDE cargado.

Posteriormente y con la misma filosofía se digitaliza la línea del eje del río. Cada línea se codifica en una capa.





En la mayoría de los casos es necesario digitalizar otra línea exterior a las cabezas de talud de los cauces, que marca hasta dónde hay que corregir los datos del MDEH para que el solape sea correcto.

De esta forma se obtienen los siguientes datos que se exportan al programa Autocad Civil 3D:

- 1) Líneas digitalizadas en 3D.
- 2) Nube de puntos de perfiles transversales (medidos, existentes y sacados de los datos originales del vuelo LIDAR).
- 3) De los taquimétricos se dejan únicamente elementos que definen el cauce y márgenes del río eliminando las líneas que definen la estructura sobre el río (puentes, azudes).
- 4) Líneas 3D de los muros en las zonas en las que el río está encauzado, incluyendo las alturas de posibles muretes de las márgenes.

Mediante un programa de desarrollo propio (ver punto 4.1), se densifica el número de perfiles transversales. Entre 2 perfiles transversales del dibujo (independientemente de su procedencia: campo, existentes ó gabinete LIDAR) se interpolan nuevos perfiles de forma que se obtengan otros con cada 3 ó 5 metros, dependiendo del tipo de río.

Con esta nube de puntos (puntos de los perfiles transversales densificados), taquimétricos y las líneas 3D (digitalizadas o medidas en campo), se genera un nuevo Modelo Digital de Elevaciones del Cauce, que a partir de ahora denominaremos MDEC. Se representa mediante un TIN.

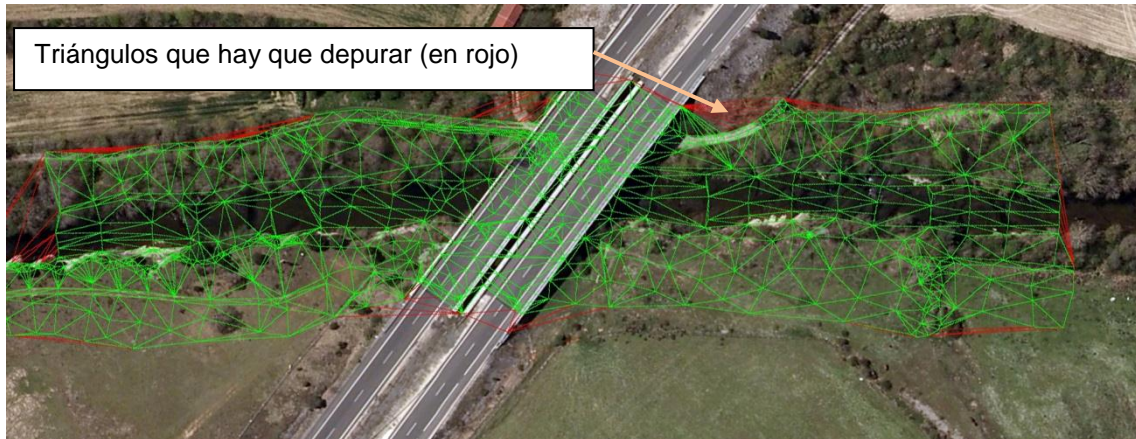


Figura 48. TIN inicial del MDEC generado sobre ortofoto

En algunos casos concretos en los que el entorno del cauce del río ha cambiado significativamente desde la realización del vuelo LIDAR será necesario realizar un taquimétrico completo de la zona afectada, para incluirlo en el nuevo MDEC.

El nuevo MDEC obtenido y representado por un TIN, se edita eliminando los triángulos “no válidos” de los extremos y de los bordes. Una vez editado se calcula la línea de “contorno” de la superficie generada.

A la línea que representa el contorno de la superficie generada, se le asigna la cota del MDEH existente. Se verifica en cada vértice la cota de ese punto según el TIN y el MDEH para asegurarse que no existe diferencia entre la cota de la nueva superficie y del MDEH y a la hora de “sumar” las superficies no se produzca un “salto” en los bordes.

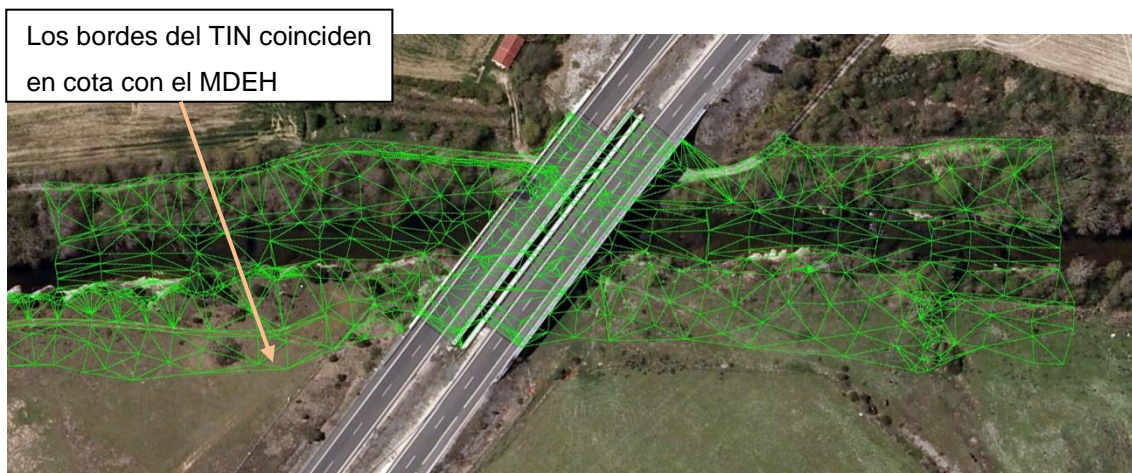


Figura 49. TIN definitivo el MDEC sobre ortofoto

Se realiza un curvado en base a esta nueva superficie, comprobando su bondad o posibles errores.



Figura 50. Curvado del MDEC definitivo sobre ortofoto

Una vez comprobada se guarda como definitiva en formato \*.DWG como líneas 3D y en formato de intercambio para GIS \*.XML.

### Fase 3.c Integración de los datos obtenidos en las hojas del MDEH. Obtención del MDR.

Con el TIN obtenido se genera un MDE ráster del cauce, mediante el programa de manejo de superficies 3D. Lo llamaremos MDEC (MDE-Cauce.)

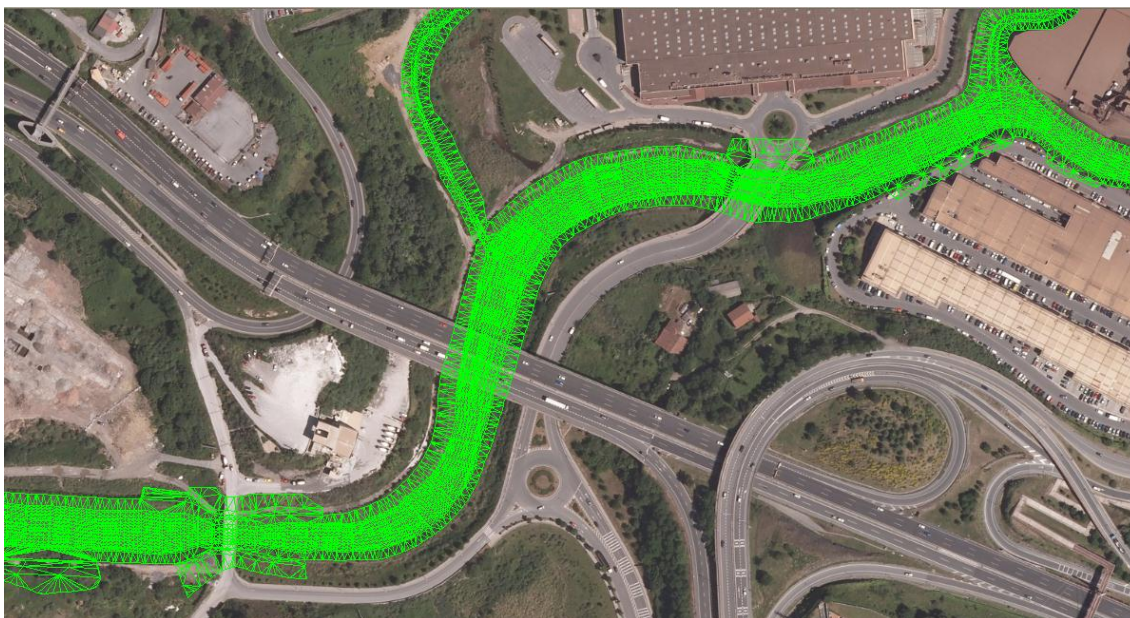


Figura 51. Ejemplo de TIN antes del RASTER

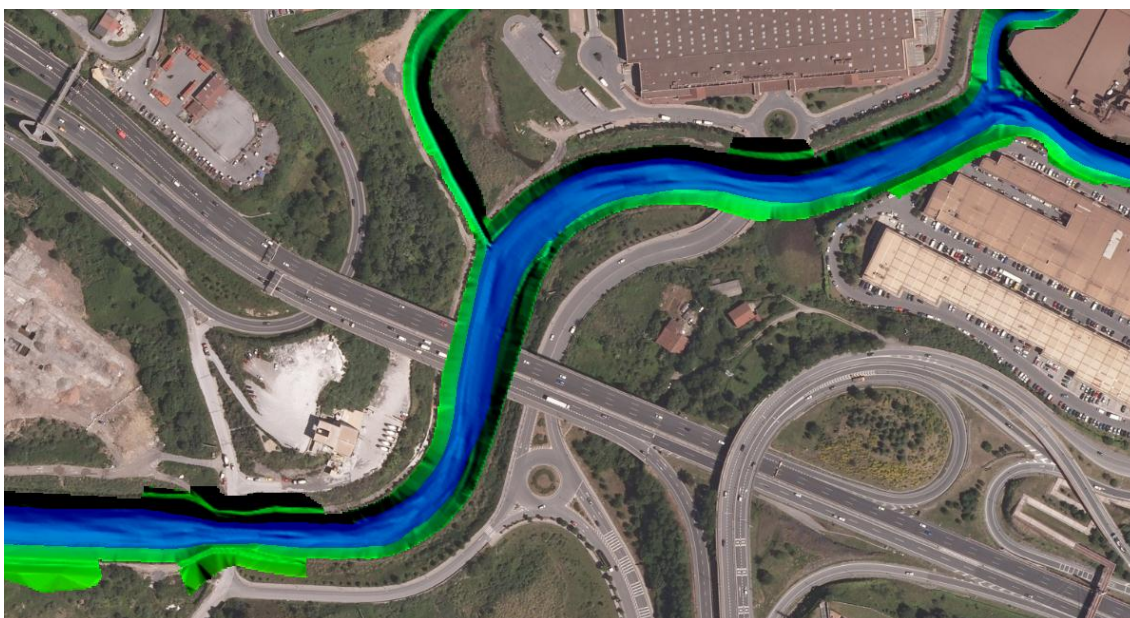


Figura 52. Ejemplo del MDEC en formato Raster

En el mismo programa se carga el fichero \*.ASC de la hoja 5.000 del MDEH a corregir.

Una vez cargados los 2 MDE, se calcula un nuevo modelo por intersección de los 2 existentes, generando un nuevo MDE de las mismas dimensiones que la hoja MDEH. En los puntos donde no existe dato del MDEC se escriben los datos del MDEH y en el resto se introducen los puntos del MDEC. De esta forma se obtienen el MDR, que seguidamente se exporta a formato \*.ASC (Arc/Info ASCII GRID Files). El resultado se aprecia en las siguientes figuras:

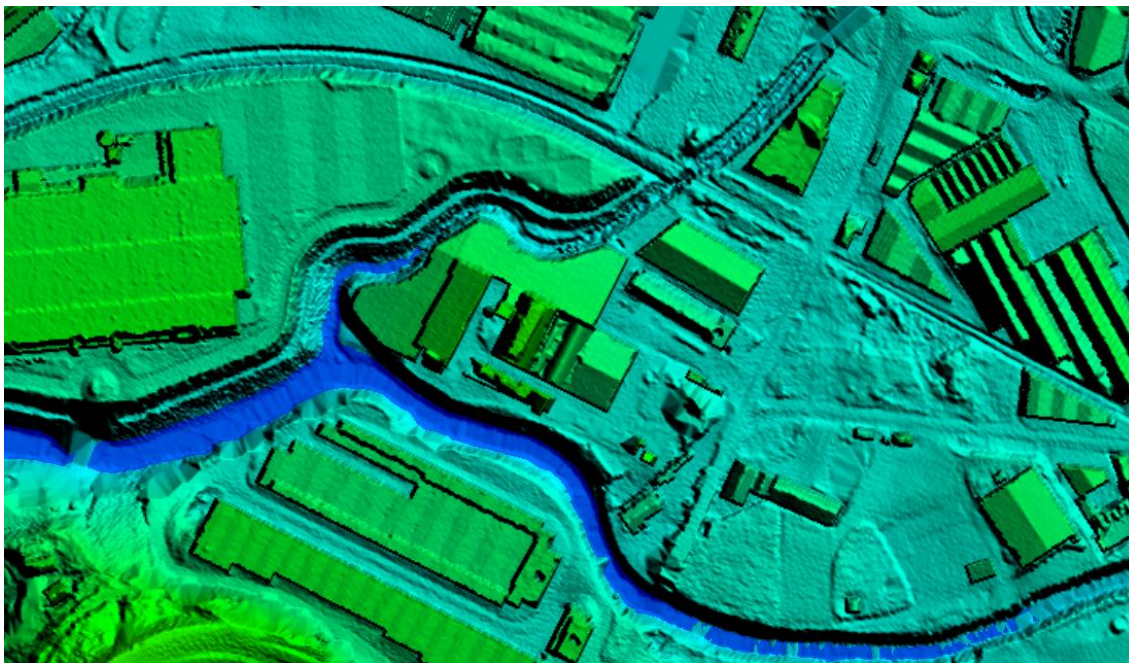
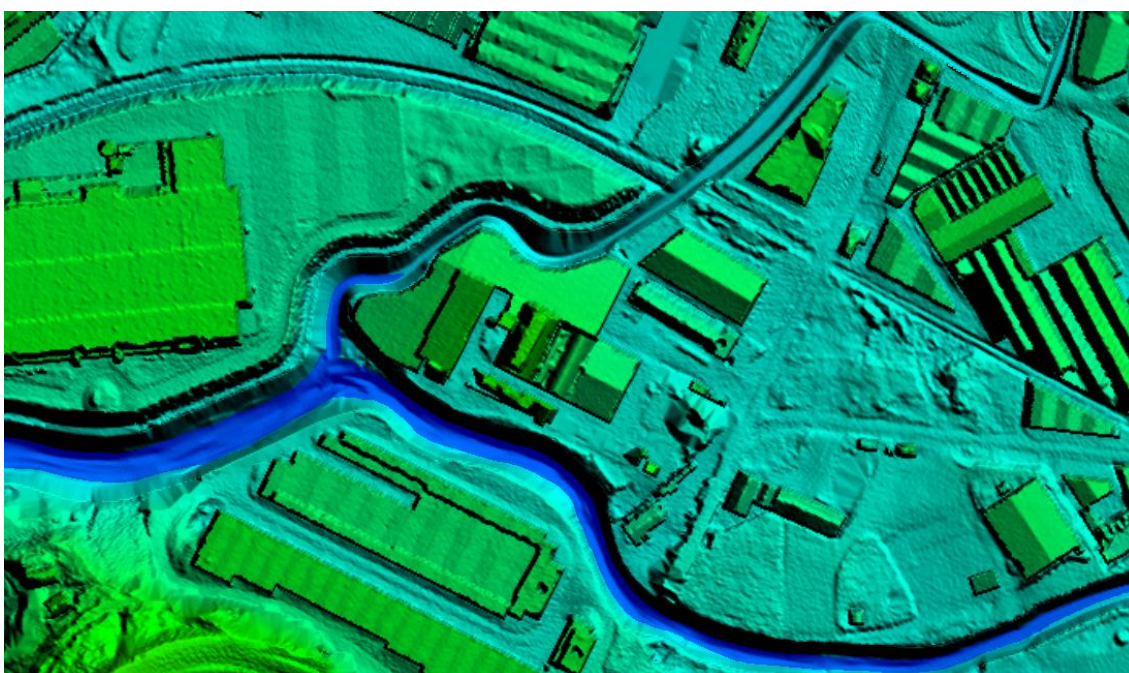


Figura 53. Ejemplo de MDEH antes de sumarle el MDEC  
 Figura 54. Ejemplo de MDR obtenido al sumar el MDEC al MDEH



Este proceso se puede realizar de forma automática, por ello siempre se debe comprobar el resultado del fichero ASC de la hoja del MDEH corregido. La comprobación

consiste en abrir cada una de las hojas LIDAR corregidas en formato \*.ASC y generar un curvado automático de la hoja, a simple vista se puede asegurar que la zona de cauce queda bien representada y se considera correcta.

A continuación se describe la nomenclatura utilizada en la presentación de los datos obtenidos

- Se denomina al nuevo Modelo Digital de Elevaciones generado como “Modelo Digital de Ríos (MDR)”, que es un MDE procedente del MDEH pero con los cauces de ríos o masas de agua analizadas y tratadas. Se presenta en formato de HOJA 5000 que es el mismo que el del MDEH existente.

Ejemplo: MDR\_60\_51.ASC

- También se presenta en el mismo formato otro fichero que contiene solamente los datos del ámbito corregido. El nombre de la hoja es el mismo pero con el sufijo \_RIO. Este fichero se utilizará para futuras correcciones del MDEH si se realiza un nuevo vuelo LIDAR

Ejemplo: MDR\_60\_51\_RIO.ASC

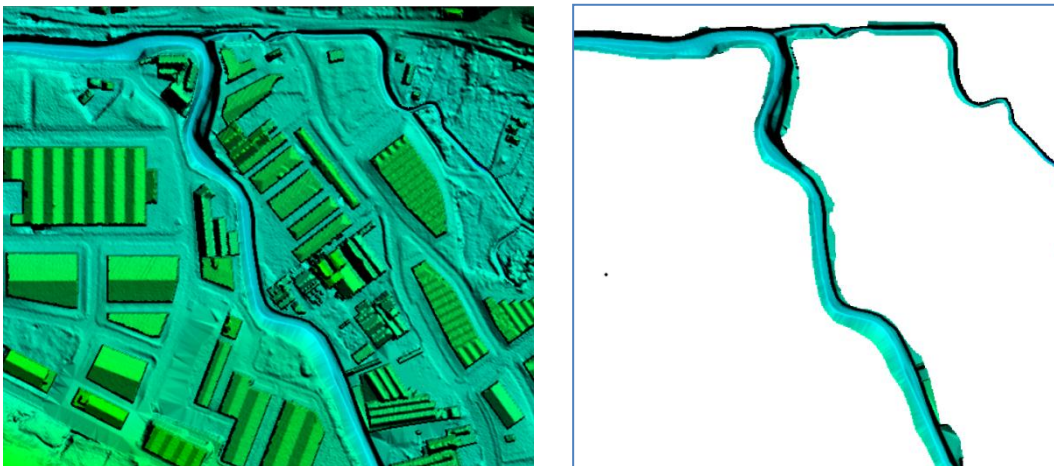


Figura 55. Diferencia entre el MDR\_60\_61\_ASC (izquierda) y MDR\_60\_51\_RIO.ASC (derecha)

**Fase 3.d Modelo geométrico completo de los cauces en HEC-RAS**

Finalizado el proceso de creación del MDR y con los obstáculos de los ríos caracterizados (secciones de puentes, azudes,...) se está en disposición de obtener un modelo geométrico de los ríos para la realización de los cálculos de zonas inundables.

De todos los cauces se genera un modelo geométrico en formato \*.g01, que es el formato de la definición de la geometría de los ríos y sus obstrucciones, que utiliza el programa HEC-RAS, elegido por URA para la simulación hidráulica y obtención de la cota de lámina en avenida.

El modelo entregado es un modelo geométrico completo (geometría del río, confluencias y obstrucciones) y georeferenciado (los perfiles se representan en coordenadas absolutas).

Todos los procesos de paso de los datos en formato CAD/GIS a Hec-RAS (incluidas la definición de obstáculos), se ha realizado con un programa de desarrollo propio (ver punto 4.1).

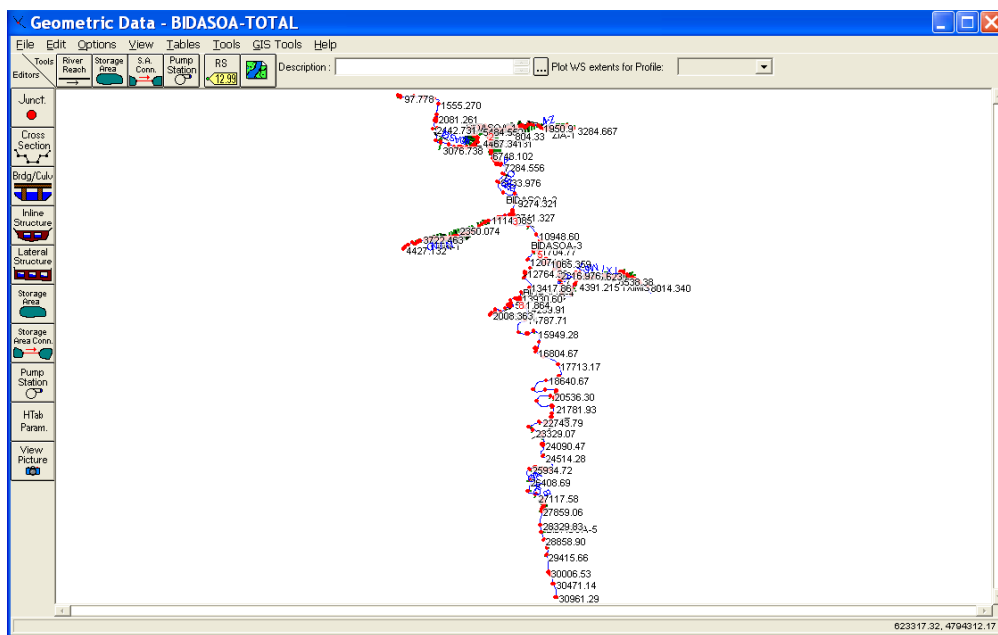


Figura 56. Representación de la geometría de un río en el programa HEC-RAS

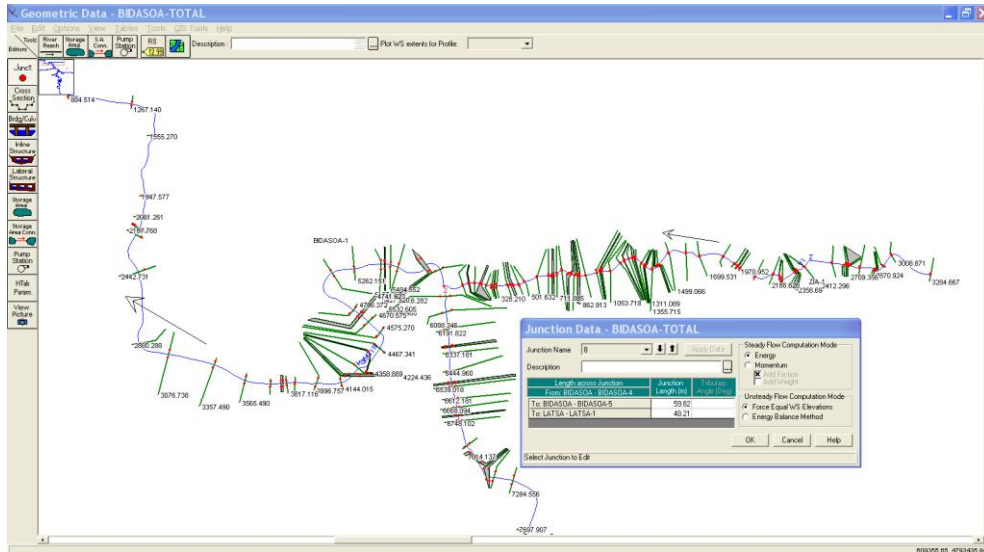


Figura 57. Detalle de una confluencia en HEC-RAS

Para la definición de los ejes de ríos se utilizan las líneas digitalizadas en la fase 3.b. También se definen los diferentes tramos de río y sus confluencias.

Se generan e introducen los perfiles transversales (transversales al río y definidos por 2 puntos o quebrados y definidos por más puntos). Estos perfiles cuentan con todos los datos calculados de distancias con el perfil situado aguas abajo (distancia a través de las riberas y por el cauce), así como la situación respecto de la margen izquierda de las orillas (Bank Stations).

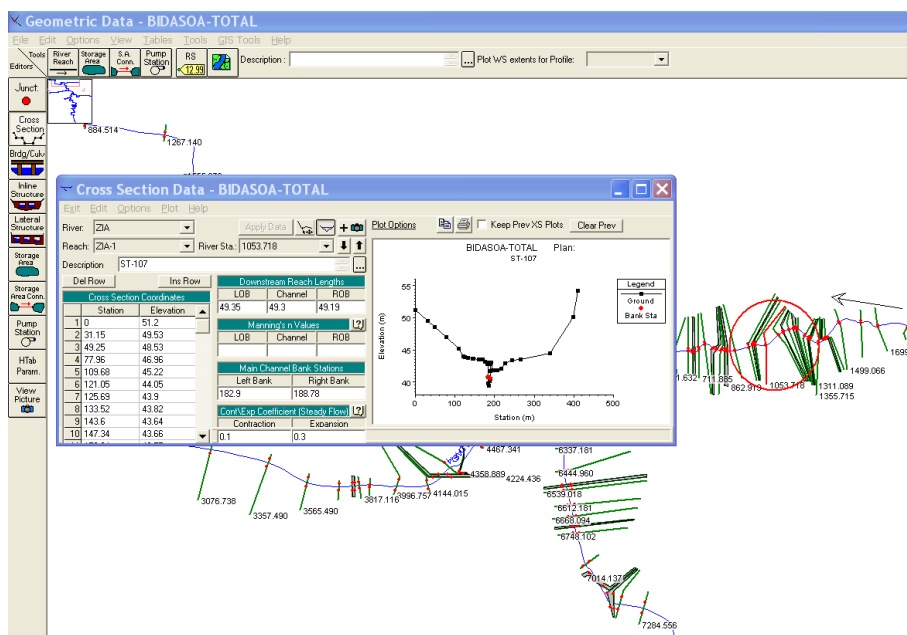


Figura 58. Detalle de un perfil transversal en HEC-RAS



La posición y geometría de los perfiles es básicamente la recibida de la CAMPAÑA TOPOGRÁFICA (fase 3.a). A veces es necesario añadir algún perfil nuevo sobre todo si han aparecido estructuras nuevas que no estaban contempladas. También se suelen adaptar cuando el eje del río cambia sustancialmente.

En los perfiles se introduce el valor del coeficiente de rugosidad “n” para la fórmula de Manning, en cada uno de sus tramos.

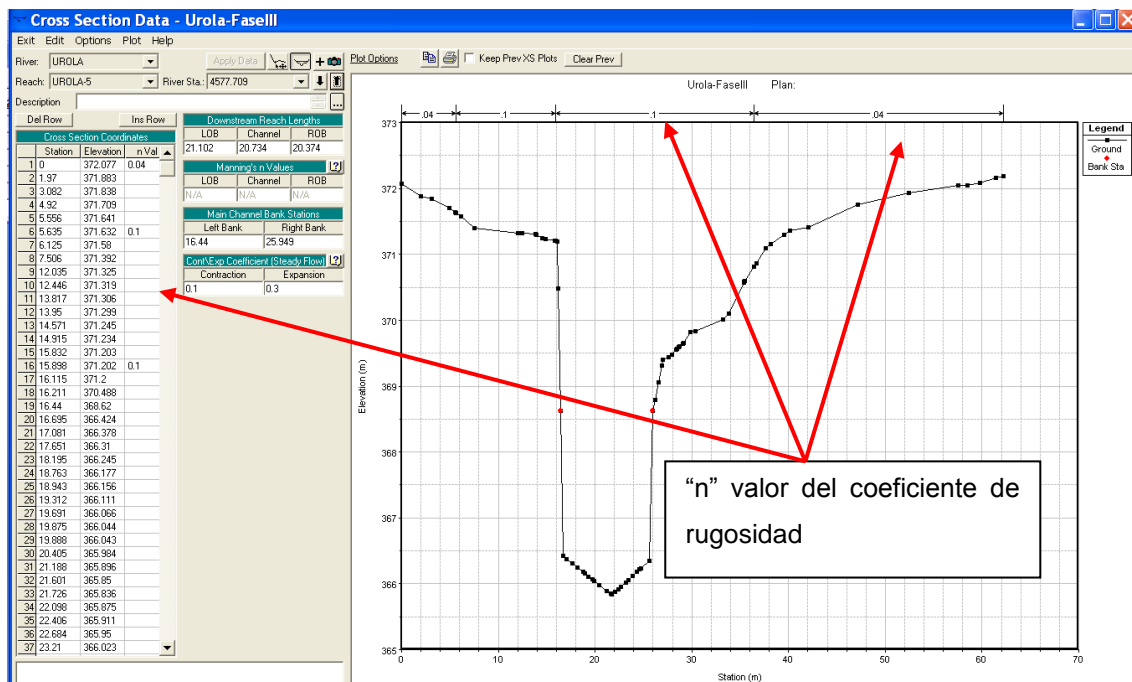


Figura 59. Perfil transversal en HEC-RAS con el valor “n” de Mannig

Para las llanuras de inundación se adopta un número de Manning en consonancia con los usos del suelo afectados según la distribución espacial de los mismos proporcionada por el Gobierno Vasco. La asignación de la rugosidad al uso viene dada por la siguiente tabla:

Uso del suelo	(1)	(2)	(3)	Adoptado
Embalses y ríos	0,015	0,022	0,02	0,02
Bosque	0,1	0,1	0,1	0,1
Matorral	0,045	0,04	0,05	0,05
Herbazal	0,04	0,03	0,035	0,04
Improductivo (urbano y baldío)	0,015	0,1	0,02	0,1
Erosión	0,04	0,03	0,025	0,04
Cultivos agrícolas	0,045	0,04	0,04	0,045
Sin vegetación	0,04	0,03	0,025	0,04
Parques urbanos	0,05	0,03	0,05	0,05
Formaciones de ribera	0,06	0,1	0,1	0,1

*Tabla 7. Asignación del coeficiente de rugosidad dependiendo del uso del suelo.*

(1) Vieux, B.E. (2004) Distributed Hydrologic Modeling Using GIS. Water Science and Technology Library, Vol. 48

(2) Werner, M.G.F., Hunter, N.M. & Bates, P.D. (2005). Indentifiability of distributed floodplain roughness values in flood extent estimation. Journal of Hidrology 314, 139-157

(3) Chow, V.T. (1959) Open Channel Hydraulics. McGraw-Hill, New York

También se introducen en el modelo las estructuras sobre el cauce, bien sean puentes o azudes. En el caso de los puentes se introducen los pilares.

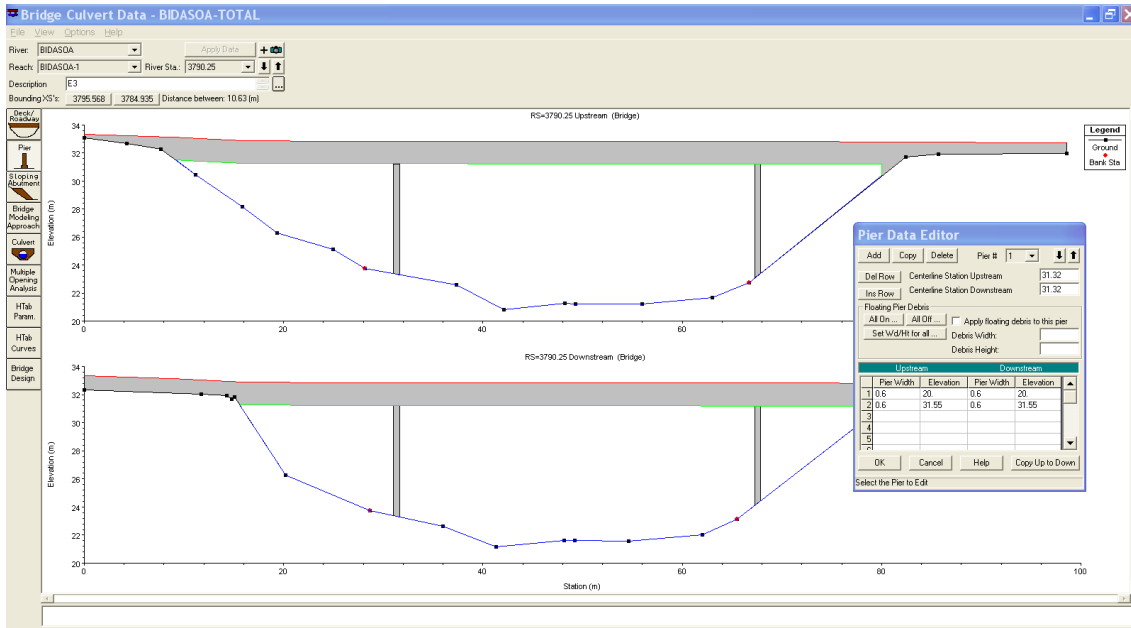


Figura 60. Ejemplo geometría puentes en HEC-RAS

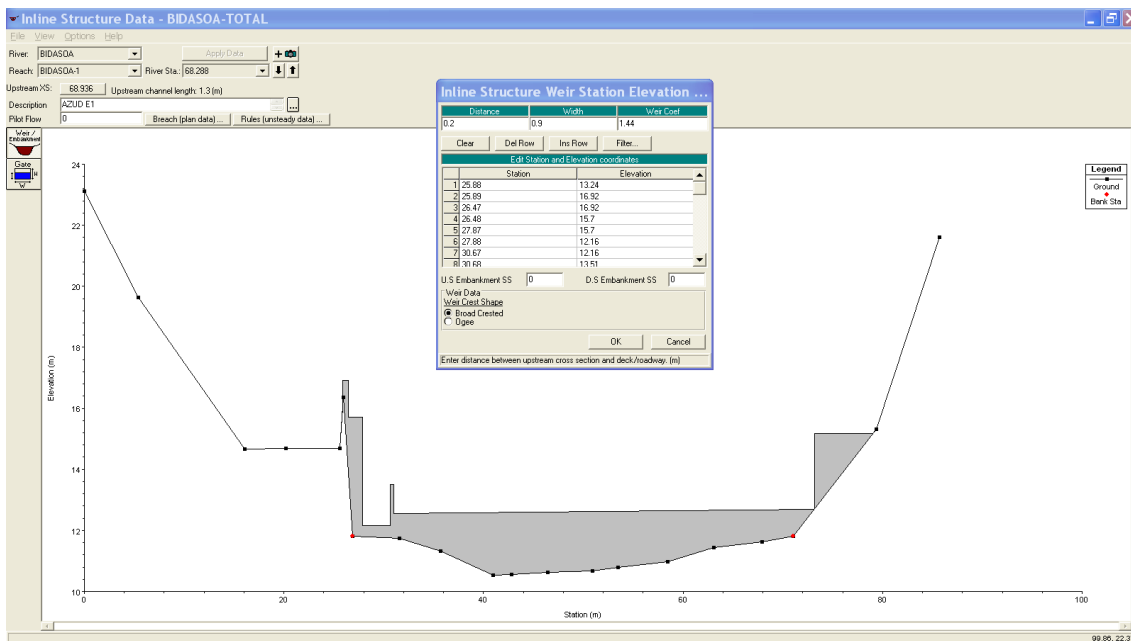


Figura 61. Ejemplo geometría azudes en HEC-RAS

Es **muy importante** destacar que los datos de los perfiles transversales no se obtienen únicamente del fichero \*.ASC del MDR, sino que se utiliza una combinación de datos del MDR y de los datos del TIN del MDEC que ha servido como base para la confección de dicho MDR, ya que al ser éste un fichero “ráster” con la definición de 1 punto por cada metro, se puede perder precisión en las secciones transversales, especialmente en el caso de zonas de río encauzados, o con muros de contención en sus márgenes (ver ejemplo en el punto 5 de las conclusiones).

### ***Fase 3.e Control de calidad de los trabajos***

Esta fase es la más importante de los trabajos y en todo momento se siguen los procedimientos operativos establecidos para cada una de las tareas realizadas, si bien es cierto que ante un trabajo tan singular se han desarrollado procesos de aseguramiento de calidad del producto entregado.

Para ello se han desarrollado una serie de rutinas y scripts (ver punto 4.1), que han servido para controlar los datos entregados.

## 4.- SOFTWARE UTILIZADO: DESARROLLO PROPIO Y COMERCIAL

En este apartado se enumera el software específico empleado para el desarrollo del proyecto (omitimos el software de ofimática, etc.), realizando hincapié en el software de desarrollo propio, el cual se ha programado para automatizar diferentes fases del proyecto.

No es el objetivo de este apartado el desgranar el funcionamiento de los diferentes programas informáticos utilizados o desvelar el código fuente de los programas de desarrollo propio, sino dar una visión global de la cantidad de medios que se han utilizado para el desarrollo de los trabajos descritos anteriormente.

### **4.1.- Software de desarrollo propio**

Los programas informáticos propios están desarrollados principalmente en Visual Basic (© Microsoft), aunque también existen varias rutinas escritas en Python™ (Python Software Foundation License) y Visual LISP® (Autodesk®).

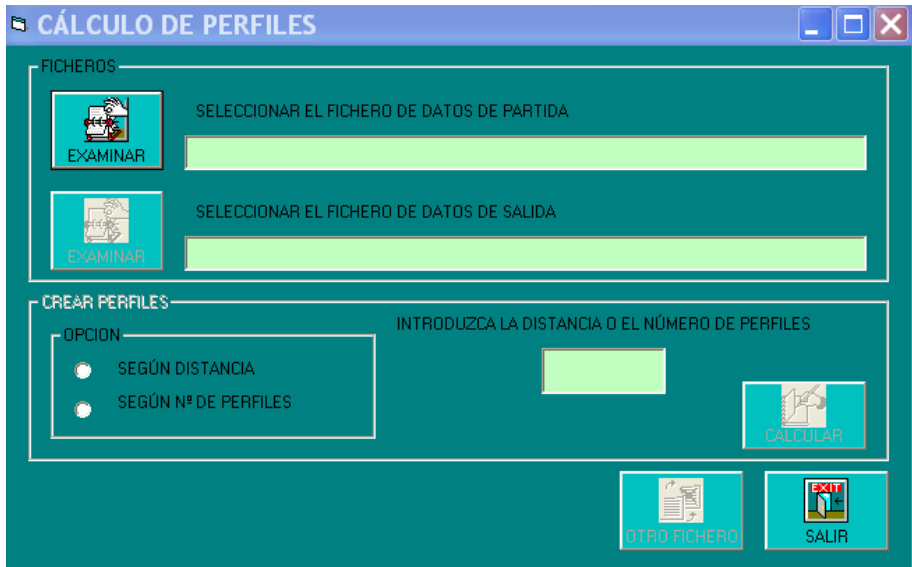
En las siguientes tablas se muestra la relación, características, fase del trabajo en la que se ha utilizado y función de los programas que se han desarrollado. Están ordenados por orden de utilización en las diferentes fases del proyecto.

<b>NOMBRE:</b> INTER-TRANS	<b>FASE:</b> 3b	<b>Nº</b> 1
----------------------------	-----------------	-------------

<b>LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN UTILIZADO:</b>	Visual Basic
--------------------------------------------	--------------

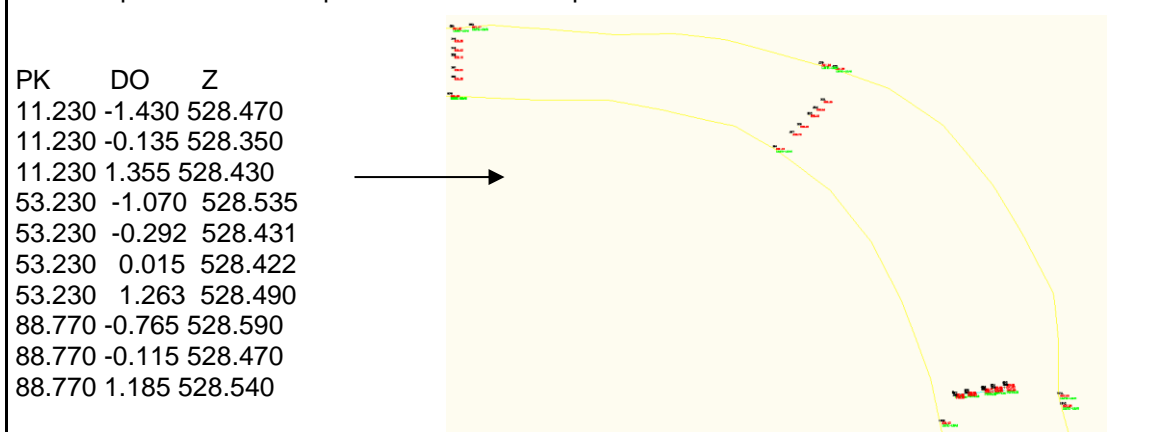
**FUNCIÓN:**  
 Interpola perfiles transversales a partir de otros ya existentes. Se utiliza para obtener perfiles transversales del río con muy poca separación y a partir de ellos poder generar un MDT mediante una TIN.

**CAPTURAS DE PANTALLA DEL PROGRAMA:**



**FORMATO FICHERO DE ENTRADA DE DATOS:**

Fichero ASCII que contienen los perfiles transversales del río dados en campo u obtenidos de los ficheros del vuelo LIDAR. Con la siguiente estructura (PK=Punto Kilométrico del eje del río, DO= Distancia del punto sobre el perfil transversal al eje del río: distancias negativas indican puntos situados en la Margen Izquierda).  
 Se acompaña de vista en planta de la nube de puntos inicial



**FORMATO FICHERO DE SALIDA DE DATOS:**

Fichero ASCII que contienen los perfiles transversales del río dados en campo u obtenidos de los ficheros del vuelo LIDAR. Con la siguiente estructura (PK=Punto Kilométrico del eje del río, DO= Distancia del punto sobre el perfil transversal al eje del río: distancias negativas indican puntos situados en la Margen Izquierda).  
 Se acompaña de vista en planta de la nube de puntos calculada y de la superficie generada

PK	DO	Z
11.230	-1.430	528.470

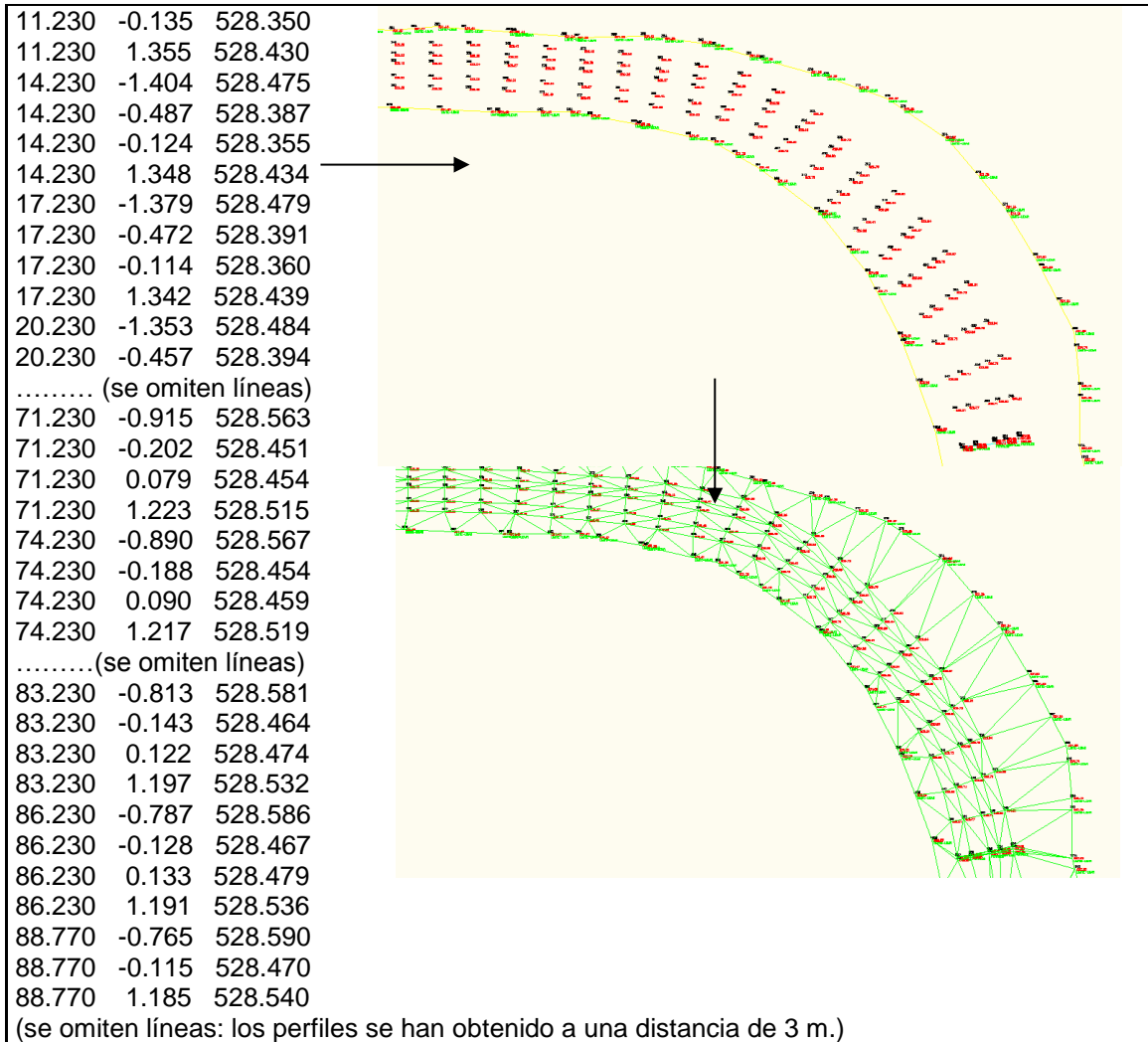


Tabla 8. Software de desarrollo propio. INTERPERFTRANS



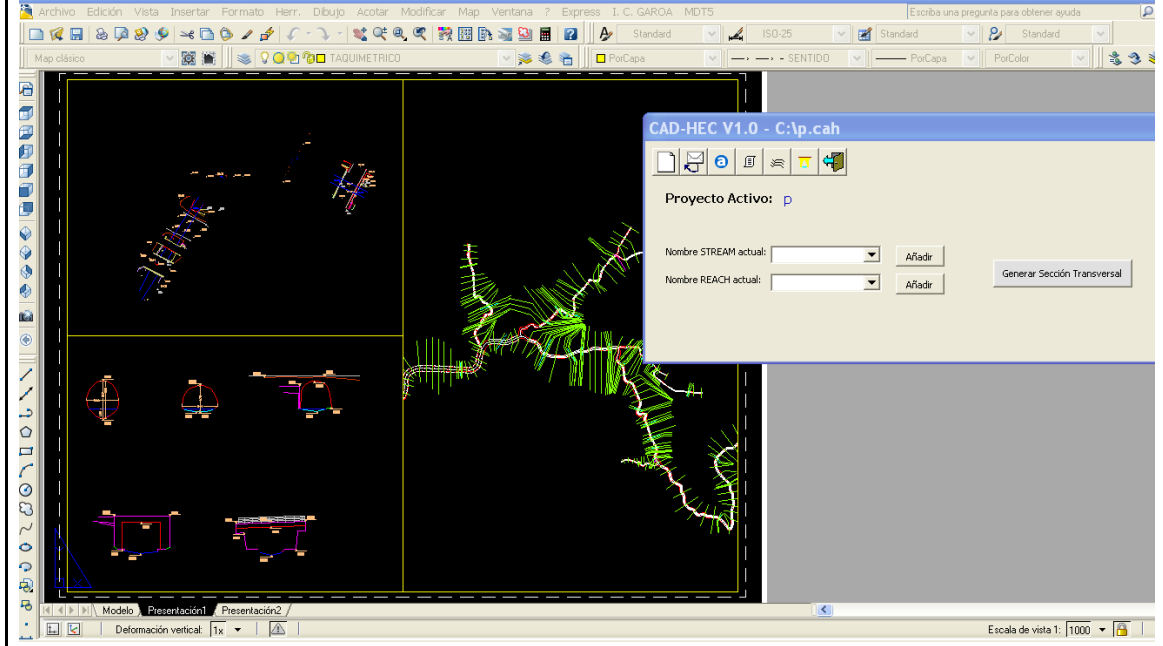
<b>NOMBRE:</b> CAD-HEC	<b>FASE:</b> 3d	<b>Nº 2</b>
------------------------	-----------------	-------------

<b>LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN UTILIZADO:</b>	Visual LISP
--------------------------------------------	-------------

**FUNCIÓN:**

Traduce la geometría de los perfiles, puentes y azudes que tenemos en un fichero DWG al fichero de geometría \*.g01 del programa HEC-RAS.  
 Tienen diferentes módulos para la traducción de perfiles, puentes y azudes ó asociar el valor de "n" en función de una capa con datos de uso del suelo.  
 Funciona bajo AutoCAD y se complementa con las funciones de topología de Redes de la versión Autocad MAP o CIVIL 3D.

**CAPTURAS DE PANTALLA DEL PROGRAMA:**



**FORMATO FICHERO DE ENTRADA DE DATOS:**  
 Archivos \*.DWG vectoriales

**FORMATO FICHERO DE SALIDA DE DATOS:**  
 \*.g01 de HEC-RAS  
 Geom Title=Urola-FaseIII  
 Program Version=4.10  
 Viewing Rectangle= 553138.704561262 , 556048.955771471 , 4772823.3622909 , 4762485.12028749

Junct Name=2  
 Junct Desc=, 0 , 0 , -1 , 0  
 Junct X Y & Text X Y=554595,4767240.5,554595,4767240.5  
 Up River,Reach=UROLA ,UROLA-6  
 Up River,Reach=URTATZA ,URTATZA-1  
 Dn River,Reach=UROLA ,UROLA-5  
 Junc L&A=83.585,0  
 Junc L&A=706.413,0

River Reach=UROLA ,UROLA-6  
 Reach XY= 7032  
 554244.8538086494762586.47560125554244.6998228624762587.60239238  
 554243.7264762594.72834224554243.562193017 4762595.927  
 ..... (se omiten líneas)  
 Type RM Length L Ch R = 1 ,11497.75,6.526,6.526,6.526

```

XS GIS Cut Line=2
554136.5168631094763221.14064604 554210.569939054763179.60939572
Node Last Edited Time=ago/29/2012 11:42:26
#Sta/Elev= 115
    0 470.229 .24 470.197 .437 469.62 1.045 468.116 1.386 467.984
    1.78 468.665 2.481 468.873 2.514 468.886 2.533 468.909 3.249 467.075
    50.74 457.597 50.746 457.496 50.765 457.2 50.791 457.2 50.807457.2011
..... (se omiten líneas)
70.178 468.225 70.476 468.568 71.325 469.442 71.989 470.045 72.471 470.612
73.032 470.948 73.618 471.135 75.066 471.167 77.441 471.226 78.121 471.242
78.445 471.249 78.789 471.261 78.856 471.263 79.081 471.272 84.904 471.32
#Mann= 3 ,-1 , 0
    0 .1 0 43.463 .02 0 50.807 .1 0
Bank Sta=39.906,50.646
XS Rating Curve= 0 ,0
Exp/Cntr=0.3,0.1

Type RM Length L Ch R = 3 ,11494.43,,
BEGIN DESCRIPTION:
E2
END DESCRIPTION:
Node Last Edited Time=ago/28/2012 14:35:56
Bridge Culvert--1,0,-1,-1, 0
Deck Dist Width WeirC Skew NumUp NumDn MinLoCord MaxHiCord MaxSubmerge Is_Ogee
0.2,6.13,1.44,0, 112, 112, , , 0.95, 0, , ,
-31.029 -30.664 -16.424 -8.46 -7.838 -7.649 -6.849 -5.581 -4.544 -3.83
-2.082 -.915 -.082 .177 1.719 1.808 2.378 3.145 4.119 4.761
5.619 6.119 6.133 6.389 7.505 8.365 9.217 9.621 9.735 11.795
11.838 12.275 13.375 14.75 16.48 18.238 19.243 19.747 19.81 21.479
21.531 21.757 22.275 23.136 24.285 25.487 26.4 27.407 28.251 28.864
..... (se omiten líneas)
Pier Skew, UpSta & Num, DnSta & Num= ,30.405, 2 ,30.665, 2 , 0 , 0 , 0 ,,
    1.72 1.72
    453 471
    1.72 1.72
    453 471
Pier Skew, UpSta & Num, DnSta & Num= ,49.9, 2 ,50.16, 2 , 0 , 0 , 0 ,,
    1.72 1.72
    453 471
    1.72 1.72
    453 471
Pier Skew, UpSta & Num, DnSta & Num= ,59.579, 2 ,59.839, 2 , 0 , 0 , 0 ,,
    1.72 1.72
    453 471
    1.72 1.72
    453 471
BC Design=, 0 ,, 0 ,,,,,
BC Use User HTab Curves=0
BC User HTab FreeFlow(D)= 0
..... (se omiten líneas un fichero de geometría estándar tienen 25.000 líneas)
    
```

Tabla 9. Software de desarrollo propio. CAD-HEC

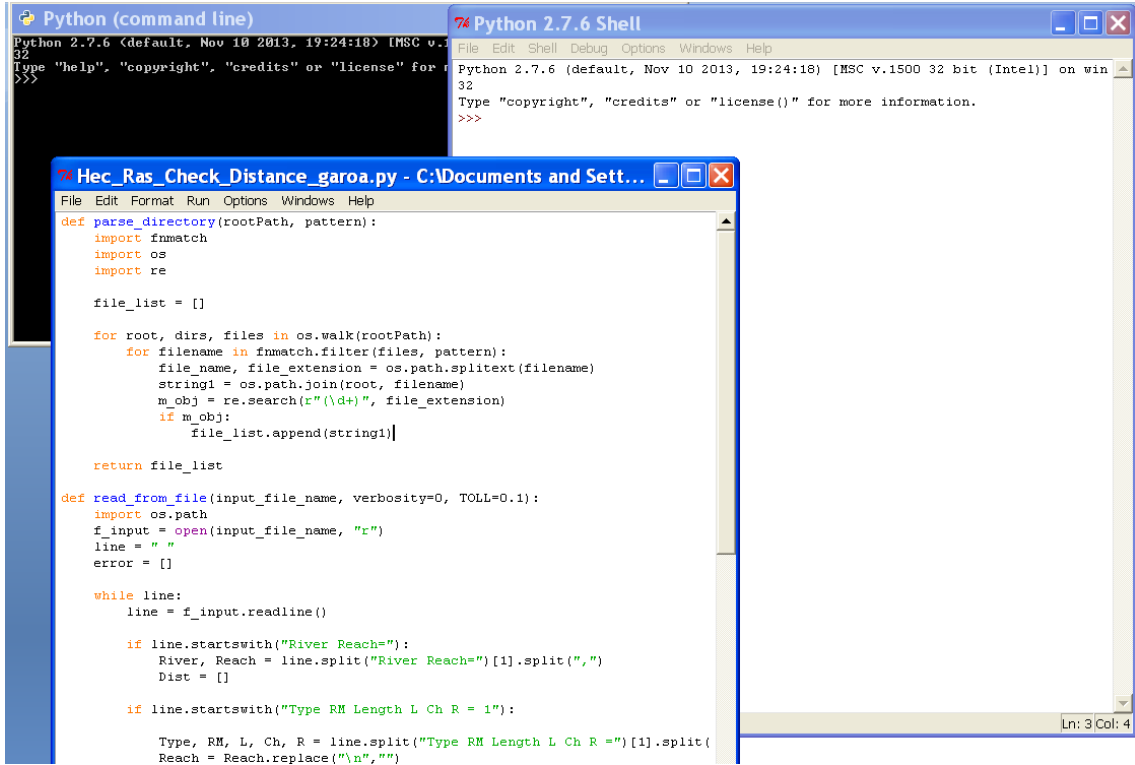
<b>NOMBRE:</b> CONTROL_FINAL	<b>FASE:</b> 3e	<b>Nº</b> 3
<b>LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN UTILIZADO:</b>		Python
<p><b>FUNCIÓN:</b></p> <p>Tiene varias partes y encadena diferentes scripts, controla los ficheros finales realizando comprobaciones como las siguientes:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Control aleatoria de coincidencia de cota en una misma hoja de MDEH y MDR</li> <li>- Control de cotas de puntos de un perfil de un fichero *.g01 y del MDEH</li> <li>- Controla la duplicidad de nombres de PK de perfiles y elementos dobles, sobre un fichero *.g01</li> <li>- .....</li> </ul>		
<p><b>CAPTURAS DE PANTALLA DEL PROGRAMA:</b></p>  <p>The screenshot shows three windows. The top-left window is a Python command line shell. The top-right window is a Python 2.7.6 Shell window. The bottom window is a code editor titled 'Hec_Ras_Check_Distance_garoa.py' containing the following Python code:</p> <pre> def parse_directory(rootPath, pattern):     import fnmatch     import os     import re      file_list = []      for root, dirs, files in os.walk(rootPath):         for filename in fnmatch.filter(files, pattern):             file_name, file_extension = os.path.splitext(filename)             string1 = os.path.join(root, filename)             m_obj = re.search(r"(\d+)", file_extension)             if m_obj:                 file_list.append(string1)      return file_list  def read_from_file(input_file_name, verbosity=0, TOLL=0.1):     import os.path     f_input = open(input_file_name, "r")     line = " "     error = []      while line:         line = f_input.readline()          if line.startswith("River Reach="):             River, Reach = line.split("River Reach=")[1].split(",")             Dist = []          if line.startswith("Type RM Length L Ch R = 1"):              Type, RM, L, Ch, R = line.split("Type RM Length L Ch R = 1")[1].split(" ")             Reach = Reach.replace("\n", "")             </pre>		
<p><b>FORMATO FICHERO DE ENTRADA DE DATOS:</b> Ficheros *.ASC, *.g01 y *.DXF</p>		
<p><b>FORMATO FICHERO DE SALIDA DE DATOS:</b> Fichero ASCII con informe de errores.</p>		

Tabla 10. Software de desarrollo propio. CONTROL\_FINAL

#### 4.2.- Software comercial o de uso libre existente

En las siguientes tablas se muestra la relación, características y función de los programas existentes utilizados. Están ordenados por orden de utilización en las diferentes fases del proyecto.

<b>NOMBRE:</b> Leica Geo Office®	<b>FASE:</b> 3a	<b>Nº</b> 4
<b>LICENCIA:</b>		Leica Geosystems AG
<p><b>FUNCIÓN:</b></p> <p>Volcado y cálculo de datos de campo. Calculo de GNSS estático y RTK . Cálculo de observaciones de topografía clásica incluyendo poligonales, intersecciones inversas y radiaciones. Cálculo de nivelaciones geométricas.</p>		
<p><b>CAPTURAS DE PANTALLA DEL PROGRAMA:</b></p>		

Tabla 11. Software comercial existente. Leica Geo Office

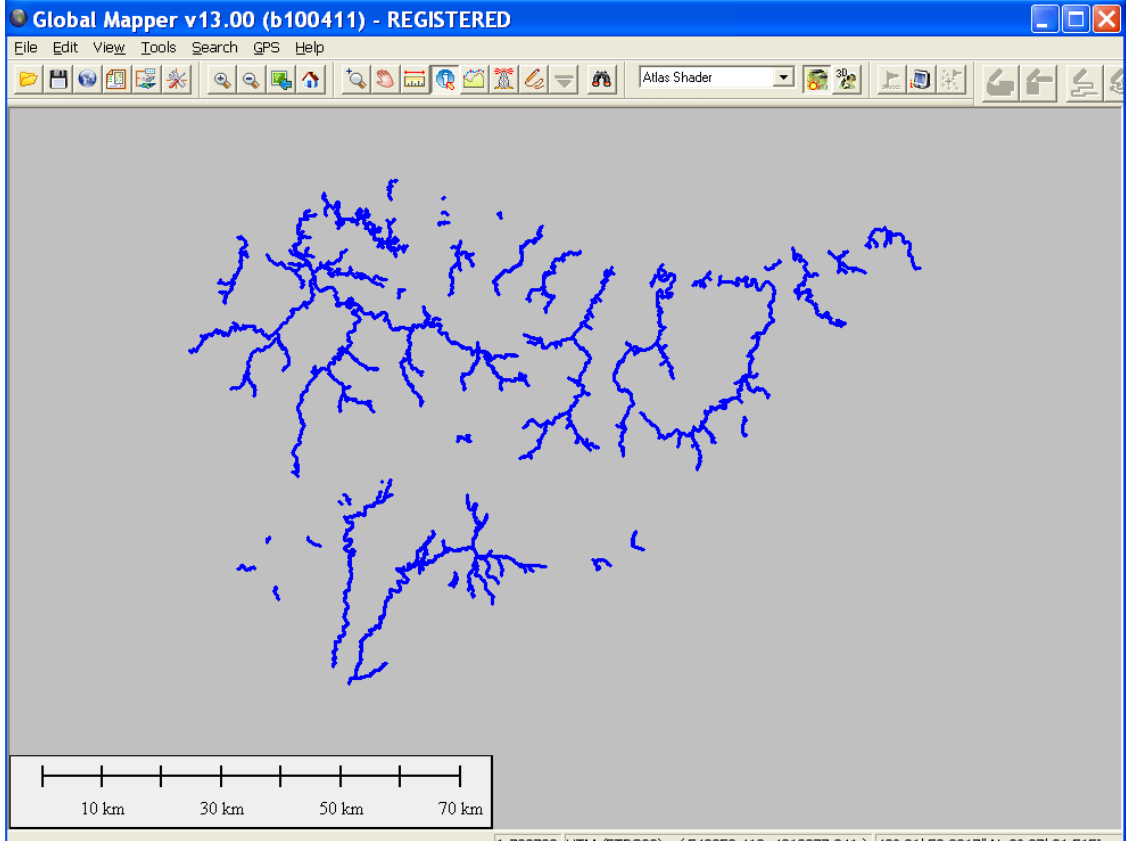
<b>NOMBRE:</b> Global Mapper™	<b>FASES:</b> 1 y 3	<b>Nº 5</b>
<b>LICENCIA:</b>	Blue Marble Geographics	
<p><b>FUNCIÓN:</b></p> <p>Se utiliza como GIS de Visualización, pudiendo abrir todo tipo de formatos de imagen, MDT ráster y archivos vectoriales utilizados en el proyecto. Generación de curvados para análisis del cauce del río, conversión de los MDT de TIN a RASTER.</p>		
<p><b>CAPTURAS DE PANTALLA DEL PROGRAMA:</b></p>		
 <p>The screenshot shows the Global Mapper v13.00 interface. The main window displays a complex network of blue lines representing a river system on a light gray background. A scale bar at the bottom left indicates distances of 10 km, 30 km, 50 km, and 70 km. The status bar at the bottom right shows the coordinate system as UTM (ETRS89) with coordinates (543958.410, 4819977.341) and a location of 43° 31' 53.2017" N, 2° 27' 21.515".</p>		

Tabla 12. Software comercial existente. Global Mapper

<b>NOMBRE:</b> AutoCAD Civil 3D	<b>FASES:</b> 1 y 3	<b>Nº 6</b>
<b>LICENCIA:</b>	Autodesk®	
<b>FUNCION:</b>		
<p>Se utiliza para el dibujo de todos los datos taquimétricos de campo (tanto en planta como los alzados de los puentes). Se utiliza para generar los perfiles transversales, nubes de puntos y superficies del terreno (TIN). Sirve como entorno gráfico para la aplicación de desarrollo propio CADHEC.</p>		

**CAPTURAS DE PANTALLA DEL PROGRAMA:**

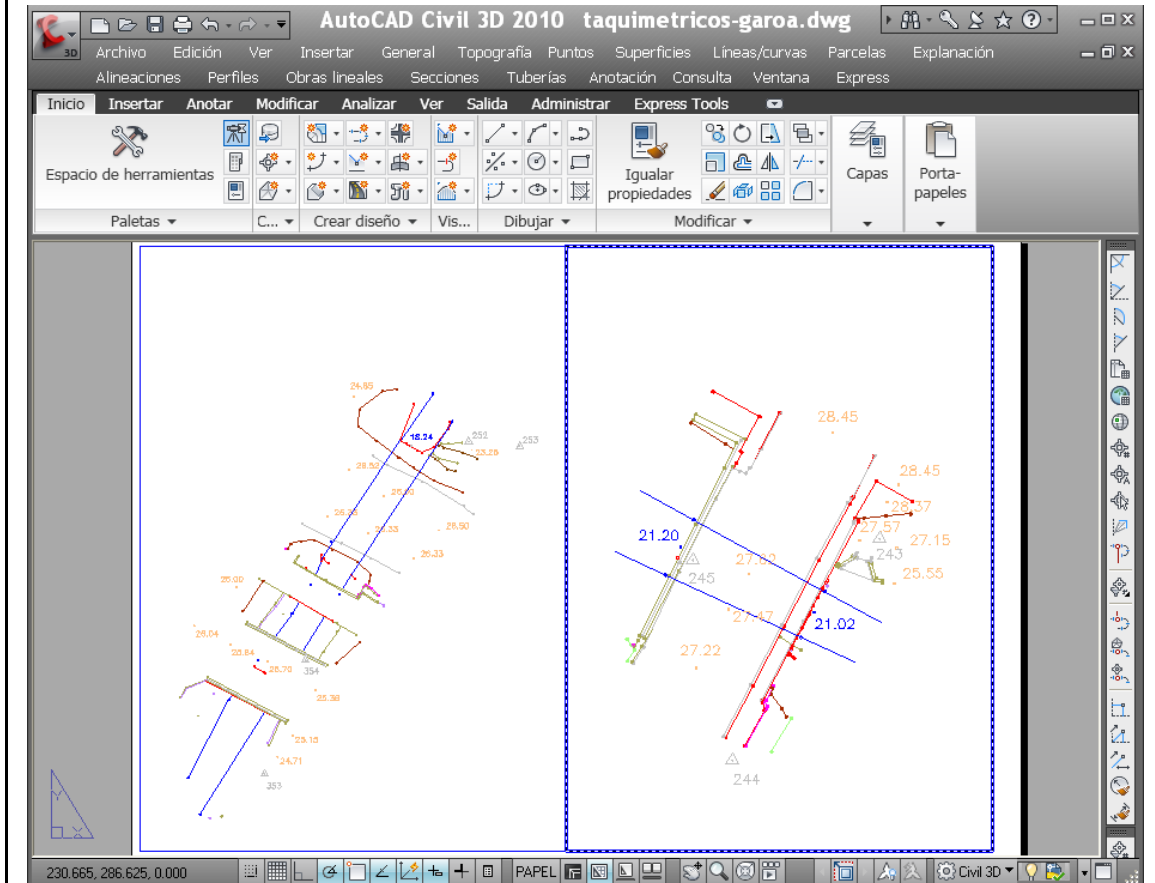


Tabla 13. Software comercial existente. Autocad CIVIL 3D

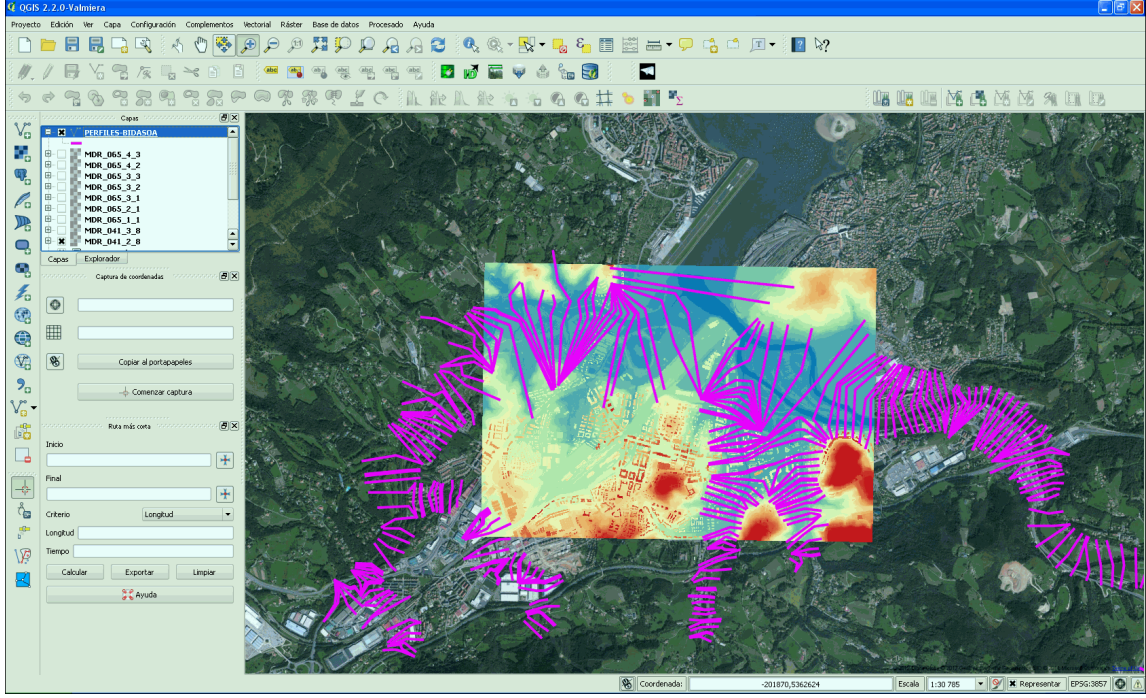
<b>NOMBRE:</b> QGIS	<b>FASES:</b> 1 y 3	<b>Nº</b> 7
<b>LICENCIA:</b>	General Public License (GNU)	
<b>FUNCIÓN:</b>		
Se utiliza como GIS de Visualización y manejo de datos LIDAR, pudiendo abrir todo tipo de formatos de imagen, MDT ráster y archivos vectoriales utilizados en el proyecto.		
<b>CAPTURAS DE PANTALLA DEL PROGRAMA:</b>		
 <p>The screenshot shows the QGIS 2.2.0 Valmiera interface. The main window displays a satellite map with a heatmap overlay in shades of yellow, orange, and red. Numerous pink arrows are overlaid on the map, pointing towards the heatmap. The interface includes a top menu bar, a toolbar, a left sidebar with various tool panels (Layers, Coordinate Capture, Shortest Path), and a bottom status bar showing coordinates and scale.</p>		

Tabla 14. Software de uso libre existente. QGIS

**NOMBRE:** HEC-RAS **FASES:** 3d **Nº 8**

**LICENCIA:** General Public License (GNU)

**FUNCION:**  
 Se utiliza para comprobar el fichero de geometría generado, y se realiza en el alguna edición sencilla de la geometría como el control o ajuste de la posición de la posición de los “Banks”, etc...

**CAPTURAS DE PANTALLA DEL PROGRAMA:**

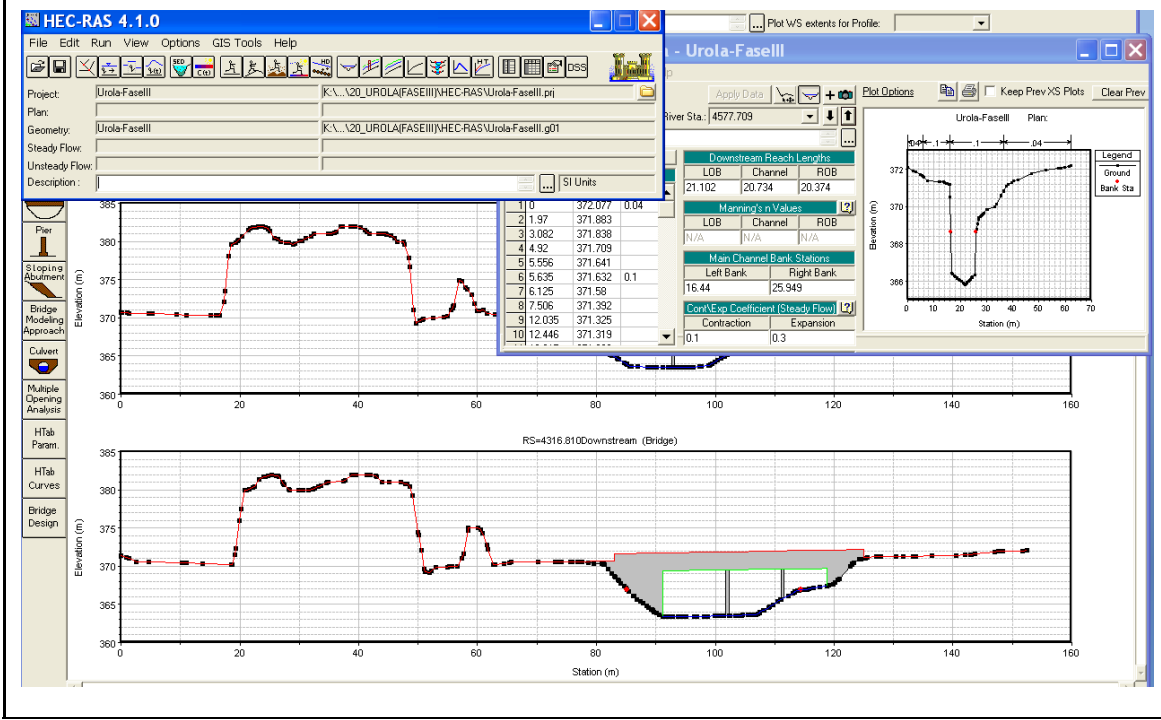


Figura 62. Software de uso libre existente. HEC-RAS



## 5.- RESUMEN DE TRABAJOS REALIZADOS

### 5.1.- *Ámbito de los trabajos*

Los trabajos se han desarrollado a lo largo de 1.298 Km de ríos, de la Comunidad autónoma de Euskadi representados en las líneas de color azul del siguiente mapa de situación.

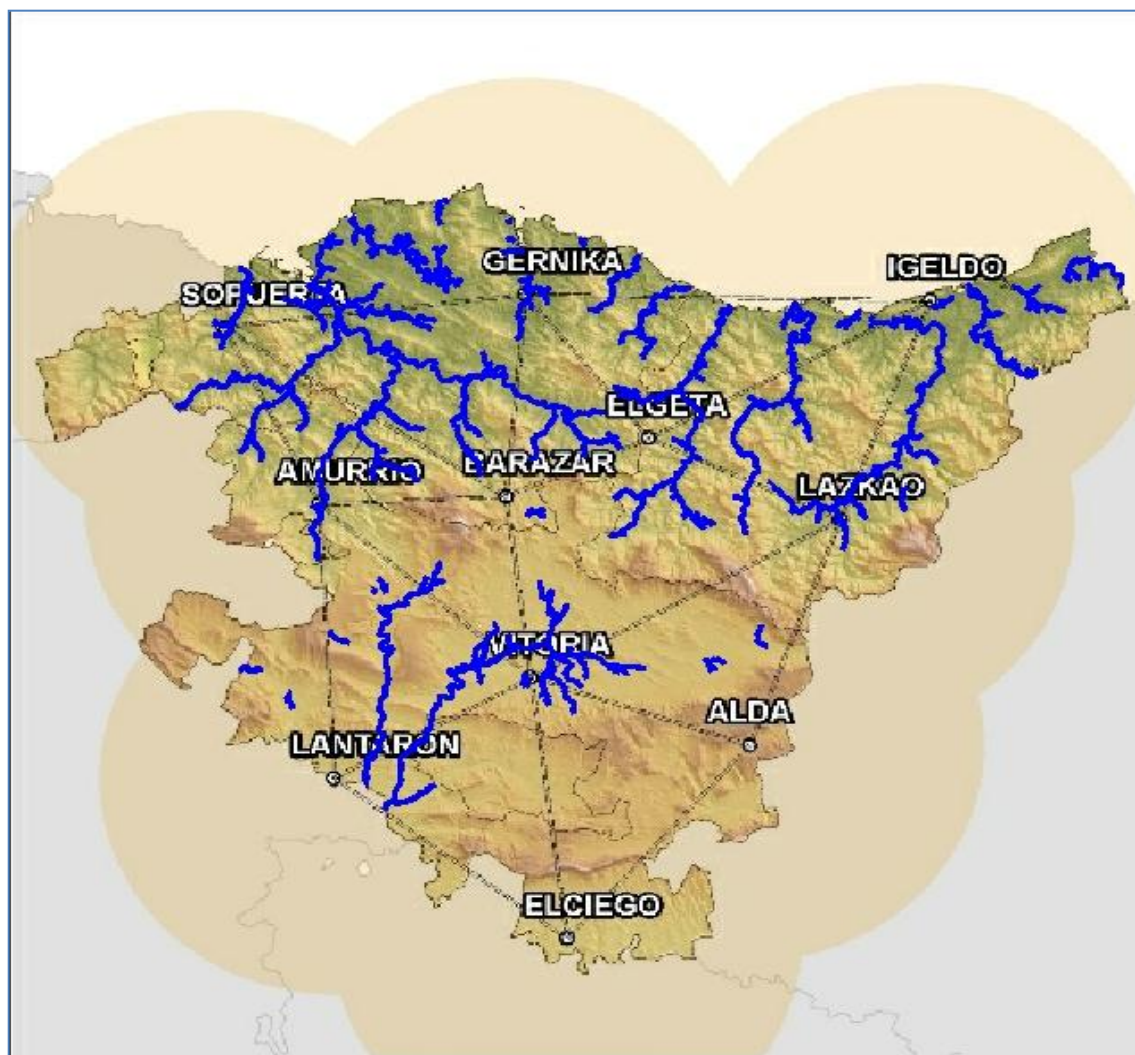


Figura 63. Mapa de situación de los trabajos

## 5.2.- El trabajo en cifras

Para hacerse una idea real de la envergadura del proyecto, se muestran algunas cifras de los trabajos realizados.

RESUMEN DE LOS TRABAJOS REALIZADOS				
Unidad Hidrológica	Km. Batimetría	Perfiles Obtenidos para el Modelo Geométrico	Puentes medidos	Azudes medidos
BIDASOA	27.0	404	66	3
OIARTZUN	16.0	378	79	9
URUMEA	50.0	547	89	8
ORIA	117.1	2 390	341	49
UROLA	82.2	1 262	248	43
ARAKIL	4.5	72	14	4
DEBA	103.6	2 047	371	103
ZADORRA	161.6	2 092	265	31
ARTIBAI	31.3	541	84	34
LEA	23.8	329	49	23
OKA	26.6	412	71	34
BUTROE	85.9	1 460	163	11
IBAIZABAL	346.8	6 372	945	242
BARBADUN	24.8	340	54	12
BAIA	73.4	787	87	18
OMECILLO	9.5	129	8	5
<b>TOTALES</b>	<b>1.184</b>	<b>19.562</b>	<b>2.934</b>	<b>629</b>

Tabla 15. Resumen Km. Batimetría, perfiles, puentes y azudes medidos.

Del total de 1.163 hojas que abarcan la CAPV se han modificado 389, lo que supone un 33 % de las mismas.

En la siguiente figura se muestra la distribución de hojas 5.000 de la CAPV (color azul) la ubicación de las zonas de trabajos (líneas de color verde) y las hojas 5.000 que se han procesado (línea gruesa de color azul).

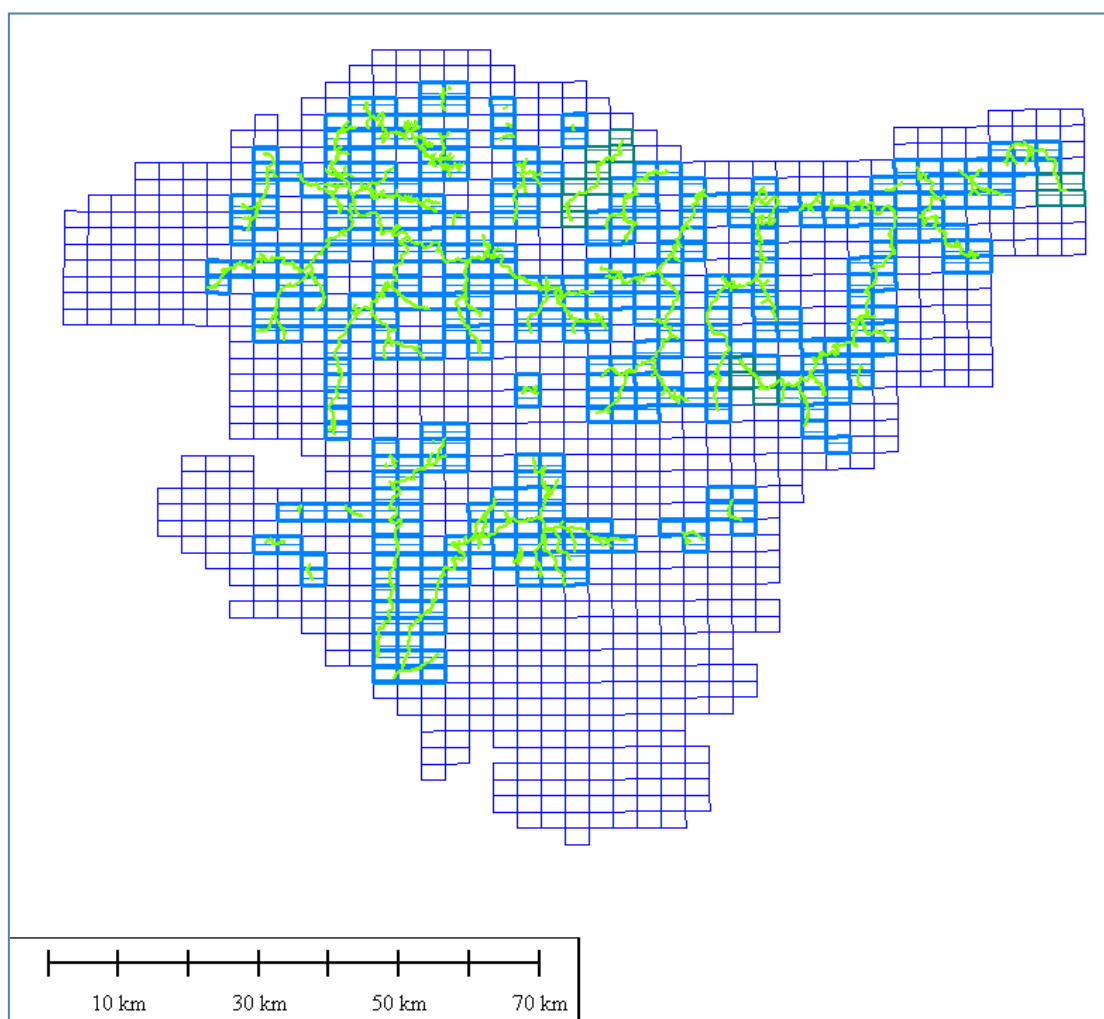


Figura 64. Distribución de Hojas 5.000 tratadas

## 6.- APLICACIÓN METODOLÓGICA EN UN TRAMO DE RÍO

En este apartado se aplica la metodología descrita anteriormente a un tramo del Río Zadorra, concretamente el tramo situado aguas arriba de la localidad de Trespuentes (Álava).

### 6.1.- Comparación MDEH original Y MDR obtenido. Raster.

Se presentan los resultados obtenidos en el tramo indicado anteriormente.

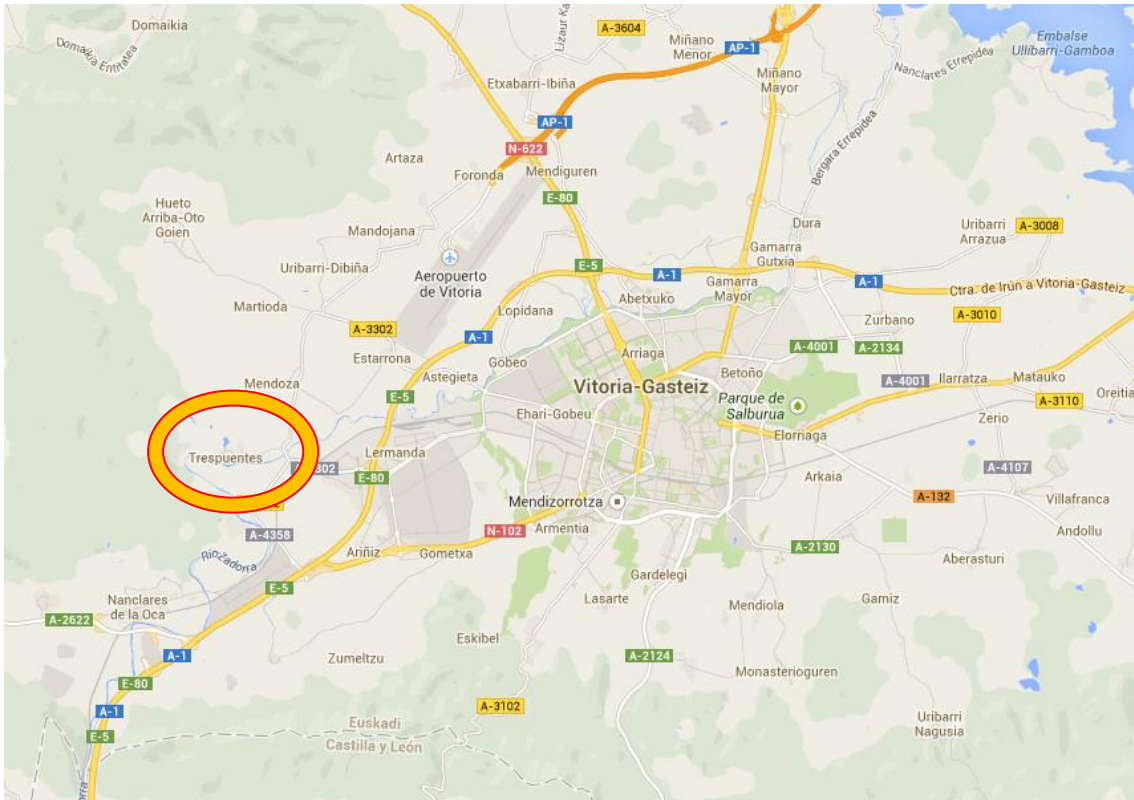


Figura 65. Mapa de situación de la localidad de Trespuentes (Álava)



Figura 66. Ortofoto de la zona. Trespuentes (Álava)

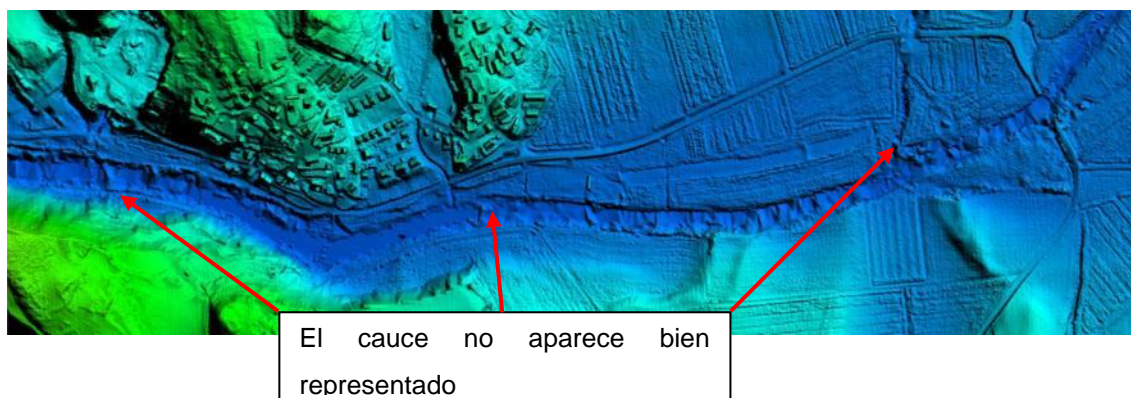


Figura 67. MDEH original de la zona. Trespuentes (Álava)

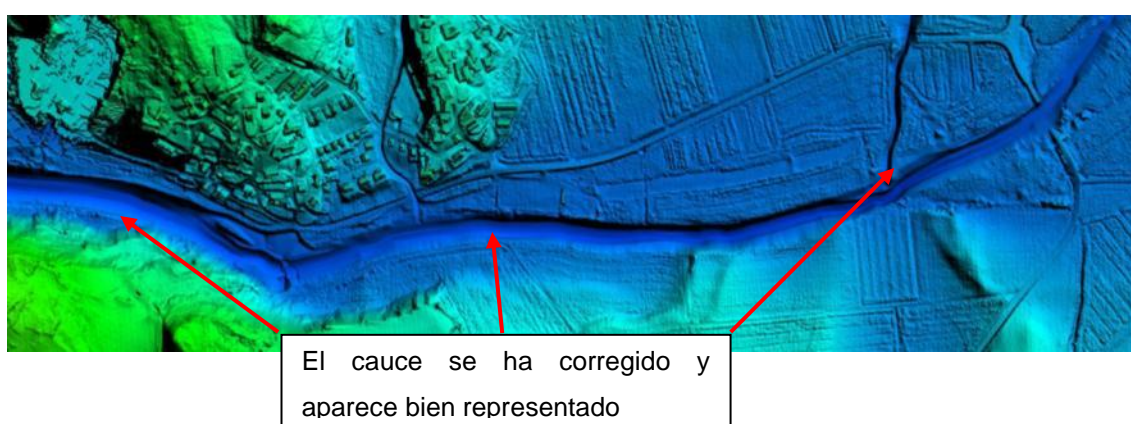


Figura 68. MDR obtenido de la zona. Trespuentes (Álava)

Seguidamente se muestra en detalle los resultados en una zona ampliada. Se muestra el modelo TIN generado y en MDR obtenido representado la altimetría corregida mediante curvas de nivel con una equidistancia de 0.2, para facilitar la comprensión de los cambios realizados. También se presenta la diferencia entre los perfiles transversales del río que se obtienen con los diferentes modelos. Las diferencias son notables y de no haberlos corregido, los modelos hidráulicos obtenidos no serían correctos y los cálculos realizados con los mismos arrojarían resultados poco fiables.

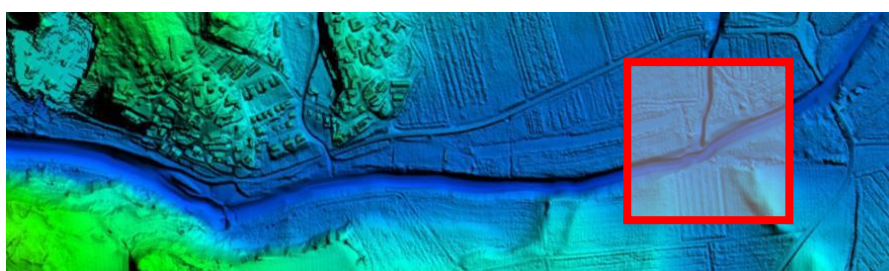


Figura 69. Ubicación de la zona de detalle analizada

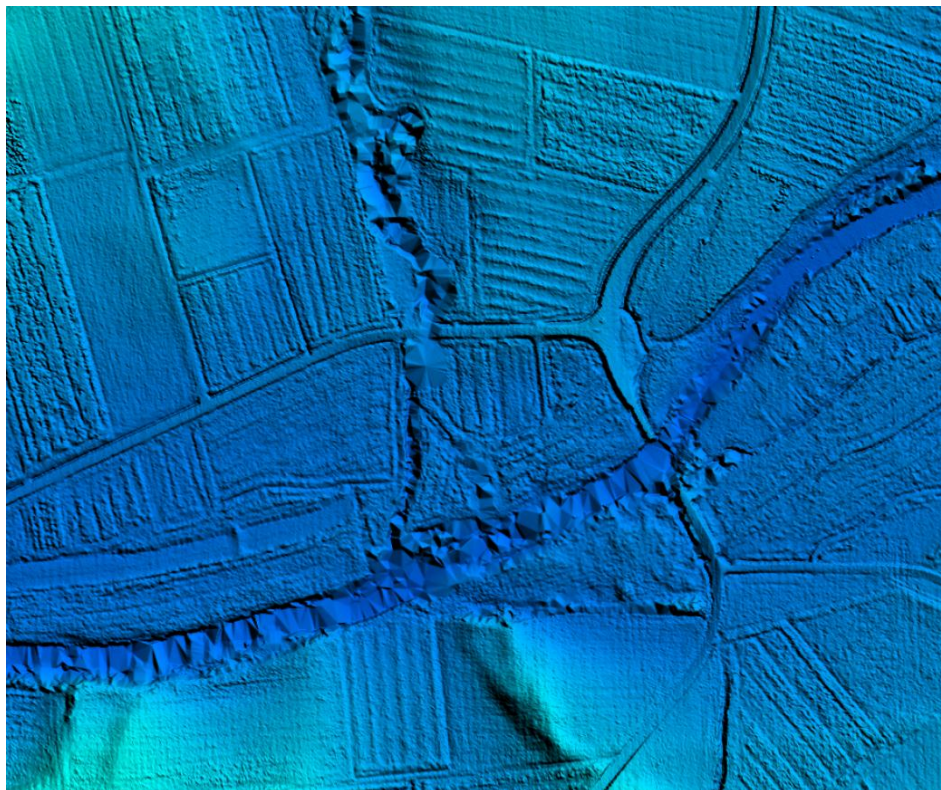


Figura 70. MDEH original. Formato RASTER.

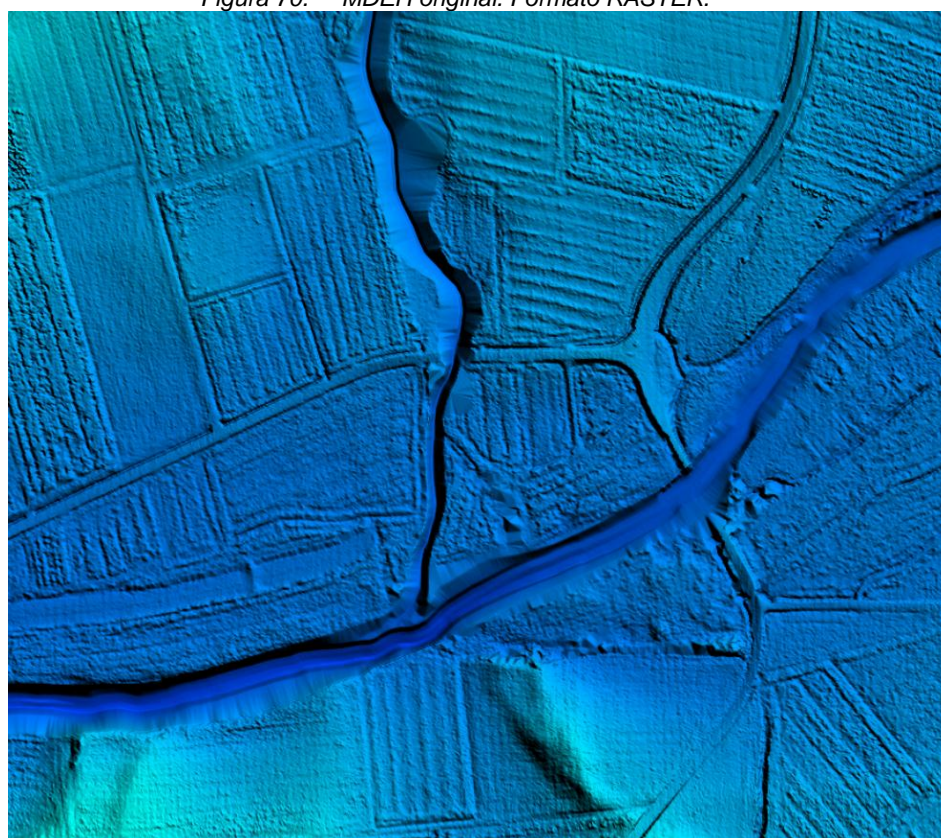


Figura 71. MDR obtenido Formato RASTER

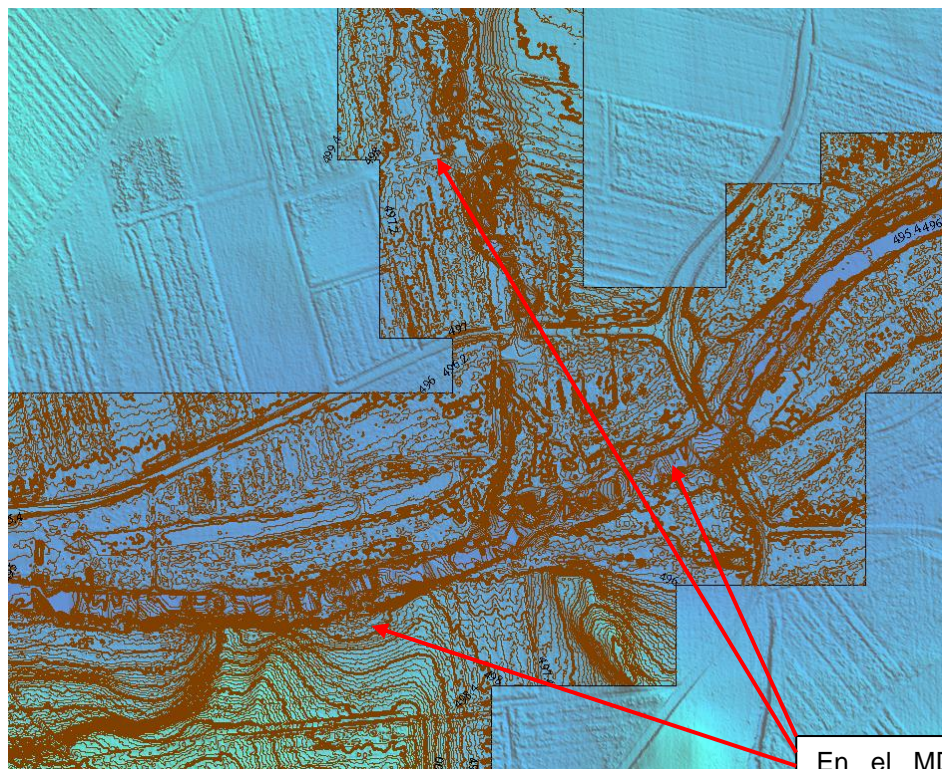


Figura 72. MDEH original. Curvado

En el MDEH original (figura superior) no se aprecian los cauces de los ríos, en el MDR (figura inferior) si.

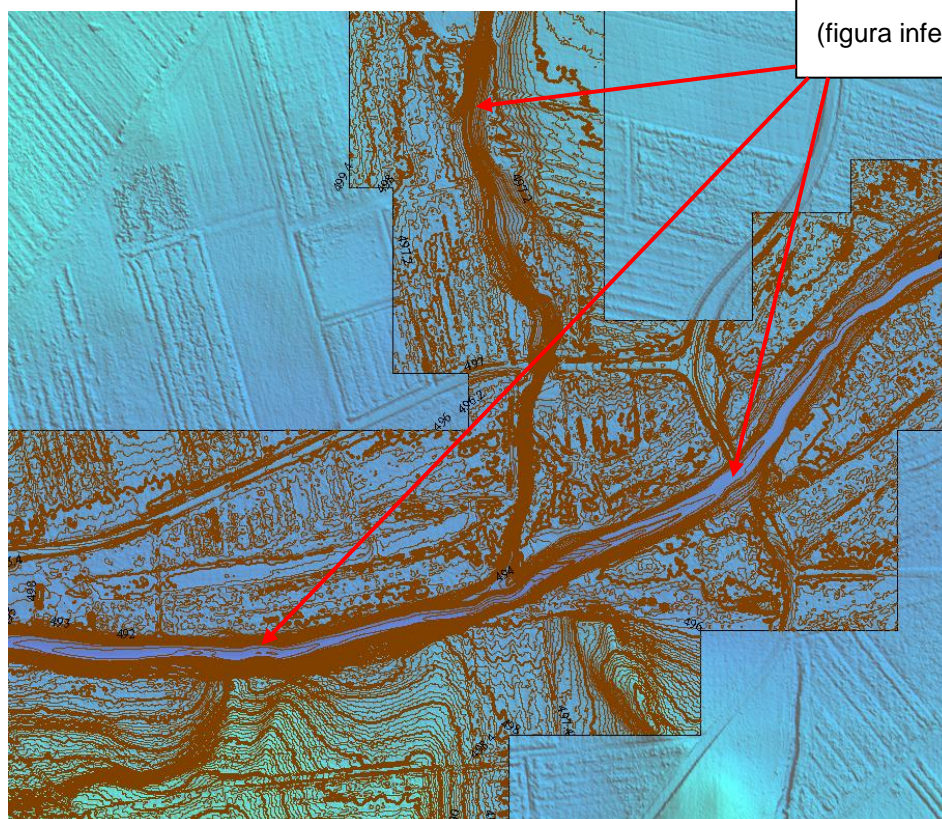


Figura 73. MDR obtenido. Curvado



Figura 74. MDC Generado formato TIN





Figura 75. Comparación de perfiles obtenidos del MDEH y del MDR. Situación.

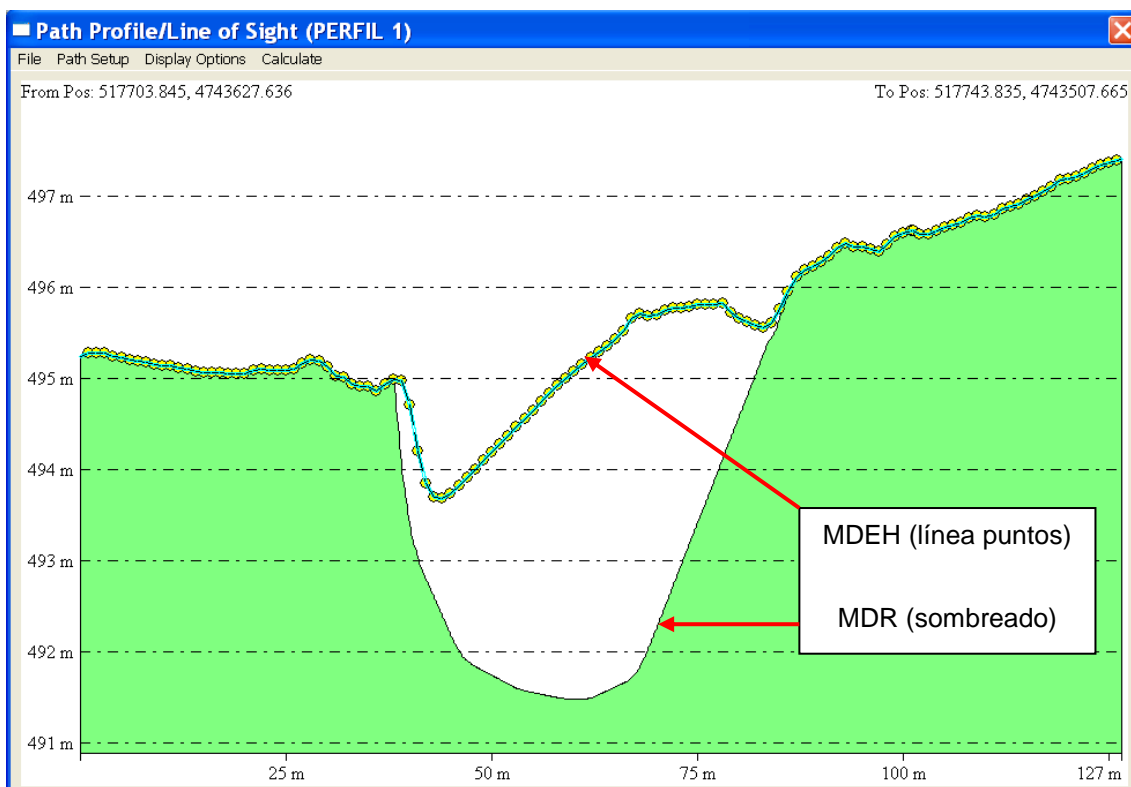


Figura 76. Comparación de perfiles obtenidos del MDEH y del MDR. Perfil 1

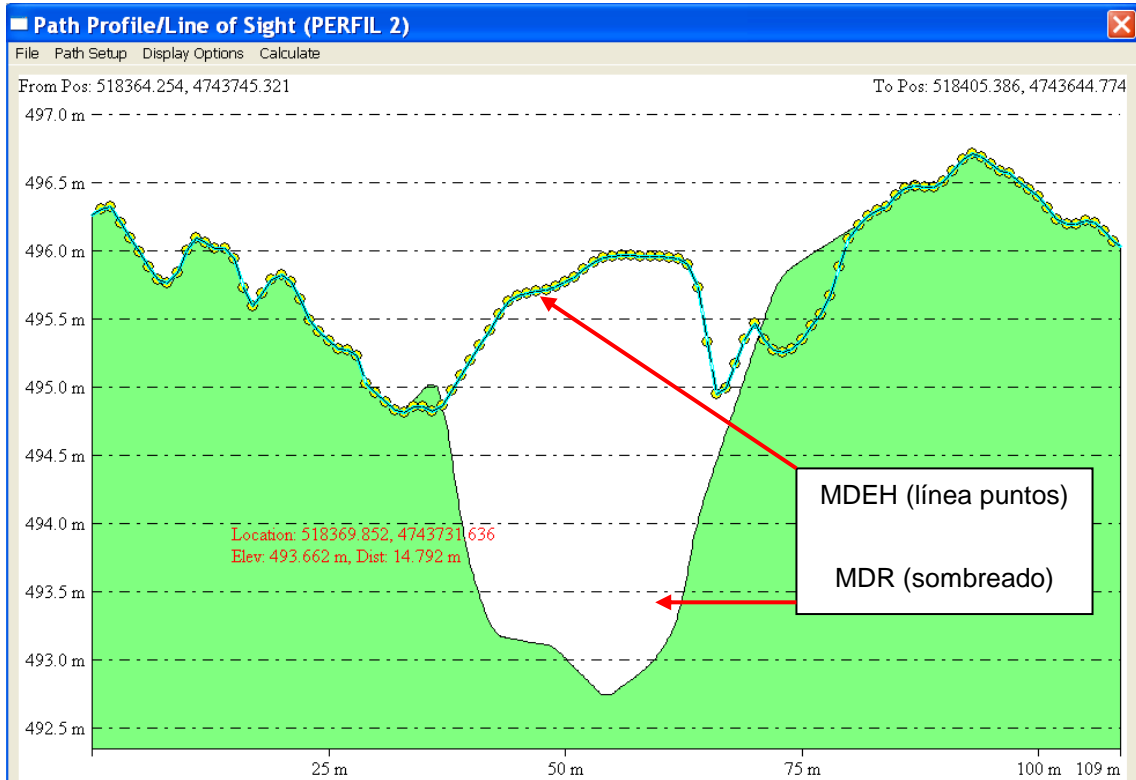


Figura 77. Comparación de perfiles obtenidos del MDEH y del MDR. Perfil 2

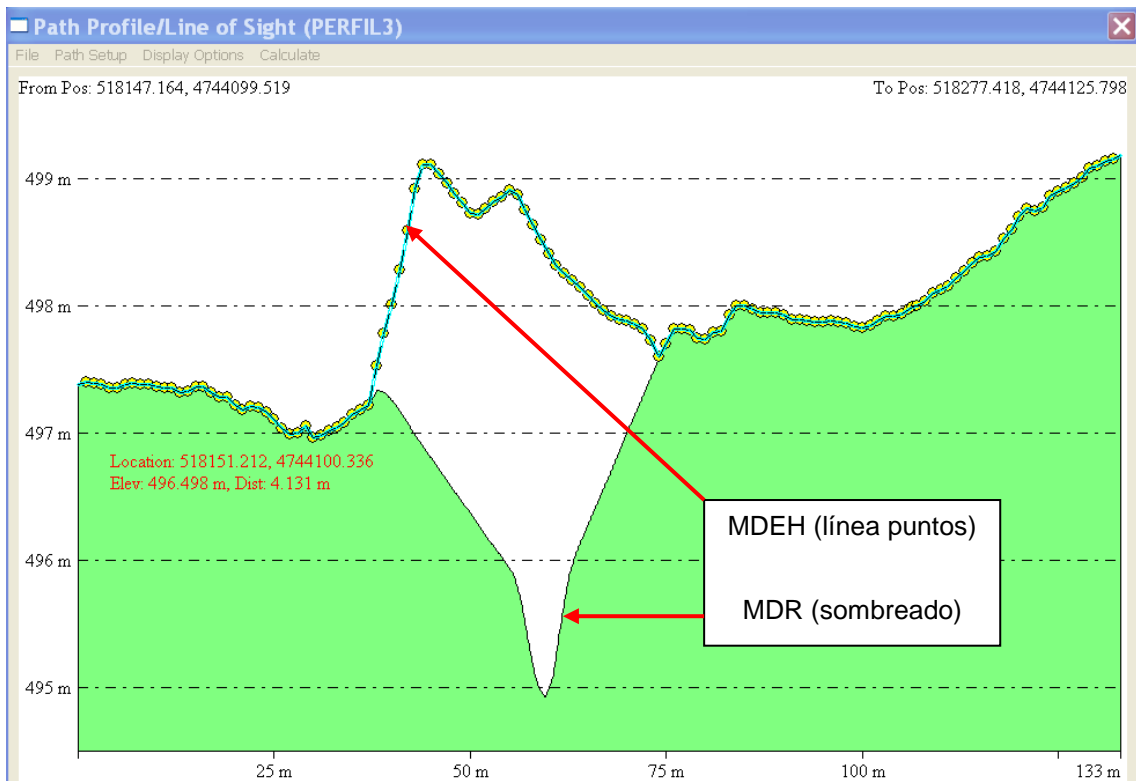


Figura 78. Comparación de perfiles obtenidos del MDEH y del MDR. Perfil 3

### 6.2.- Resultado de la batimetría de un embalse

Se presentan los resultados obtenidos en el embalse de Aixola (Gipuzkoa), propiedad de la DFG y gestionado por el Consorcio de Aguas de Gipuzkoa.

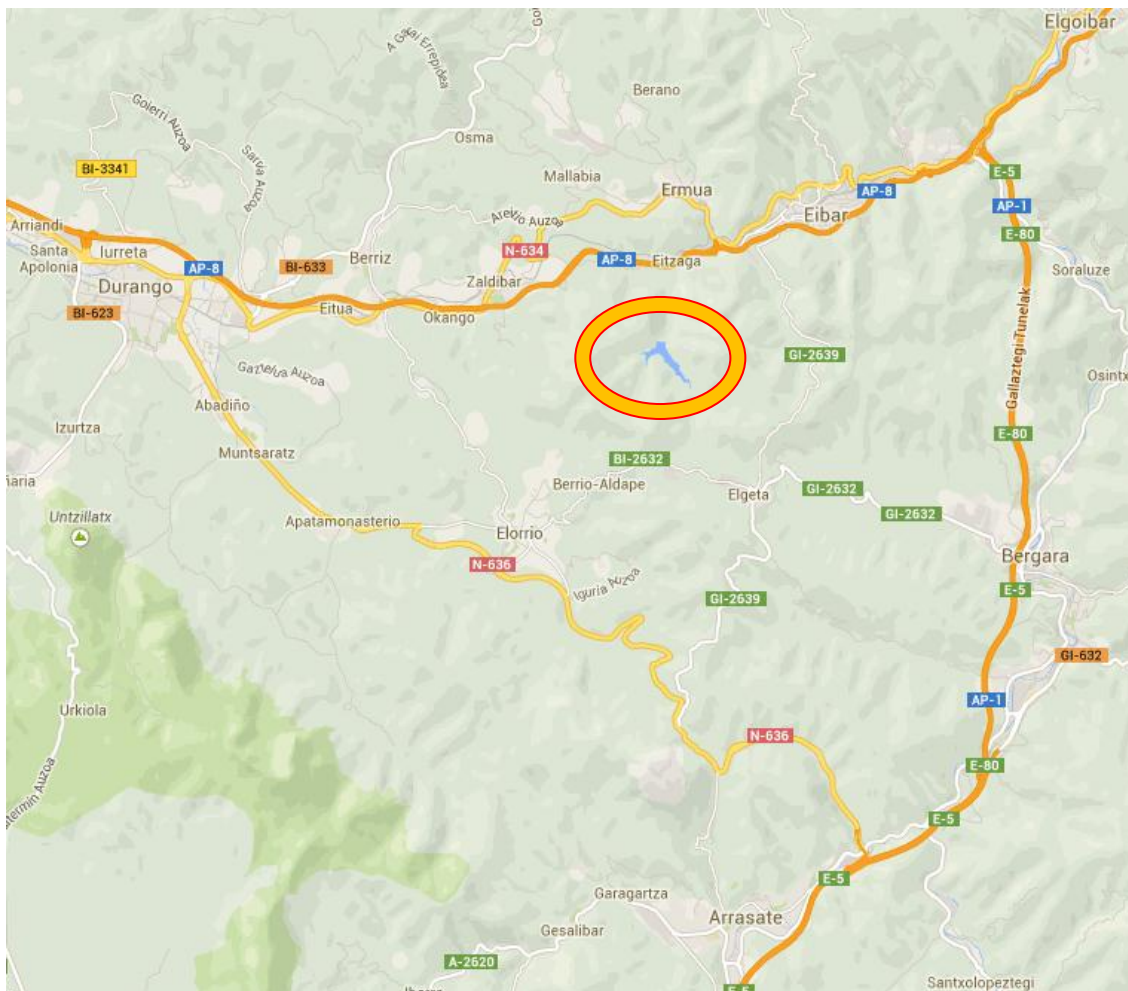


Figura 79. Mapa de situación embalse

Se presentan los resultados del MDR sobre ortofoto y las curvas características del embalse que se han calculado como trabajo complementario.



*Figura 80. Ortofoto del embalse de Aixola.*

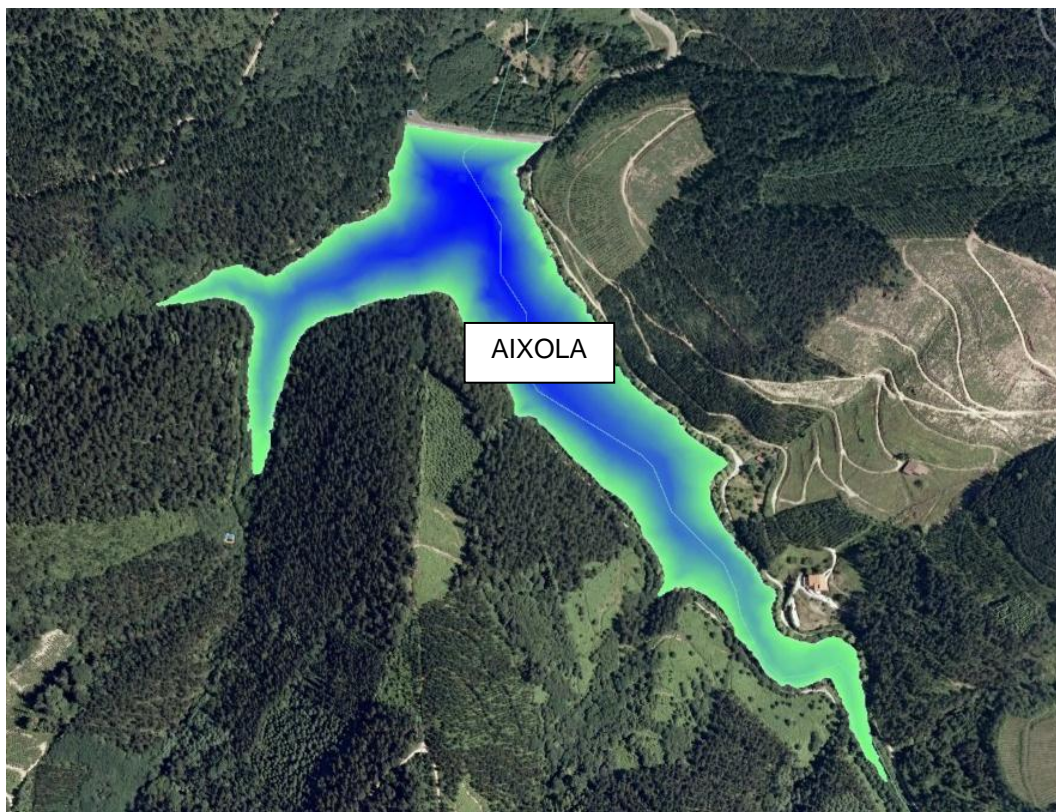


Figura 81. Ortofoto del embalse de Aixola con el MDR superpuesto.

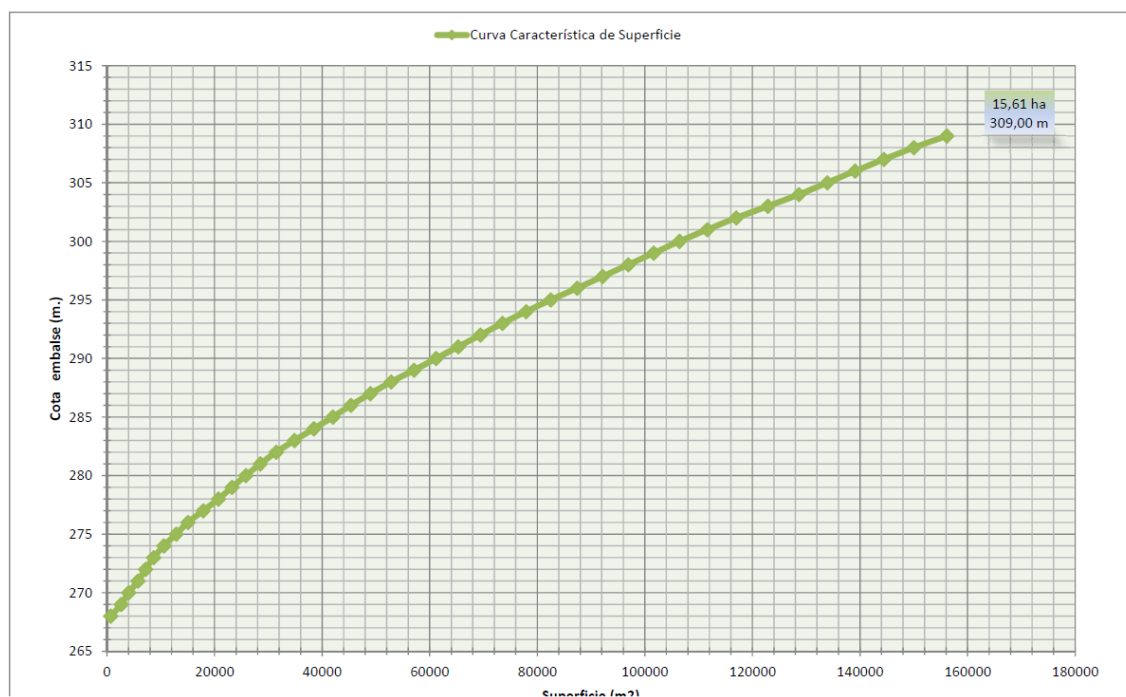


Figura 82. Curva característica de Superficie

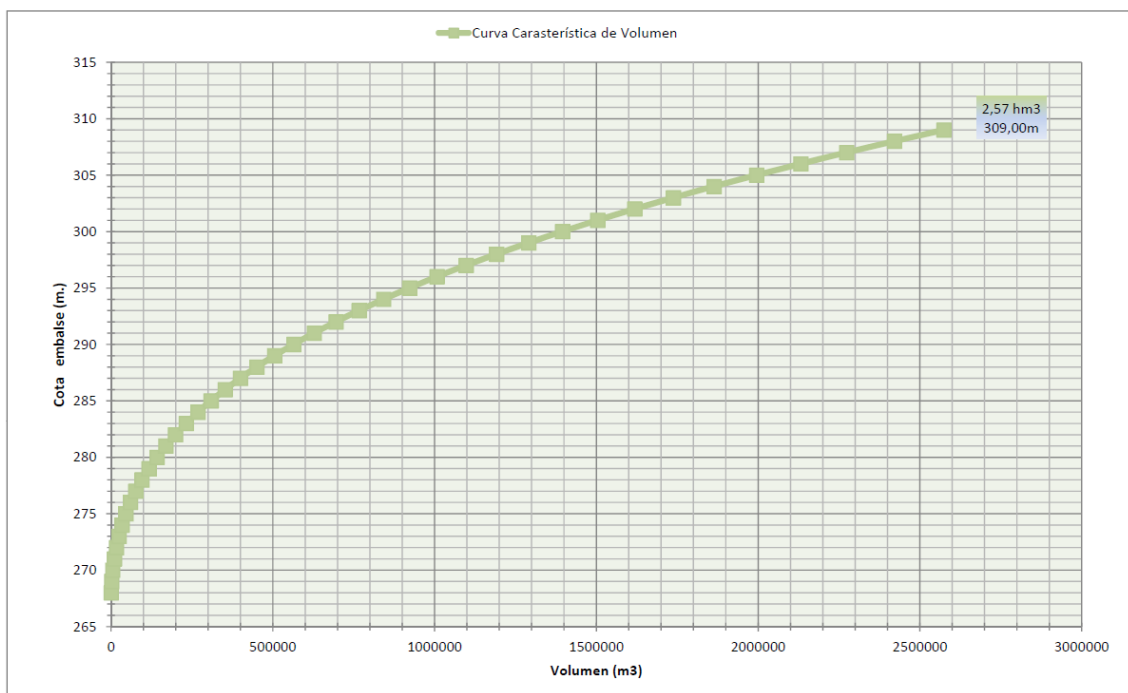


Figura 83. Curva característica de Volumen

## 7.- CONCLUSIONES

1) Para la confección de un Mapa preciso de Zonas Inundables, es necesario contar con un buen modelo hidráulico en el que resulta imprescindible una definición detallada de la **geometría de cauce** y llanuras de inundación.

2) El MDEH existente proveniente del vuelo LIDAR, proporciona una representación continua de los cauces y de su entorno. Permite la obtención de **múltiples** perfiles transversales dispuestos de manera perpendicular a las líneas de corriente, para la confección del modelo geométrico de los Ríos. Esto supone un gran avance frente a la manera tradicional de afrontar este tipo de estudios, ya que con un coste menor se puede obtener una gran densidad de perfiles y de una longitud mucho mayor.

3) La definición geométrica de los cauces que se obtiene directamente del MDEH, **no es correcta** y necesita ser completada y corregida mediante la realización trabajos de topografía clásica y batimetría, encaminados a la realización de un MDT preciso de los cauces. La unión de este MDT preciso de los cauces y del MDEH existente da lugar al MDR.

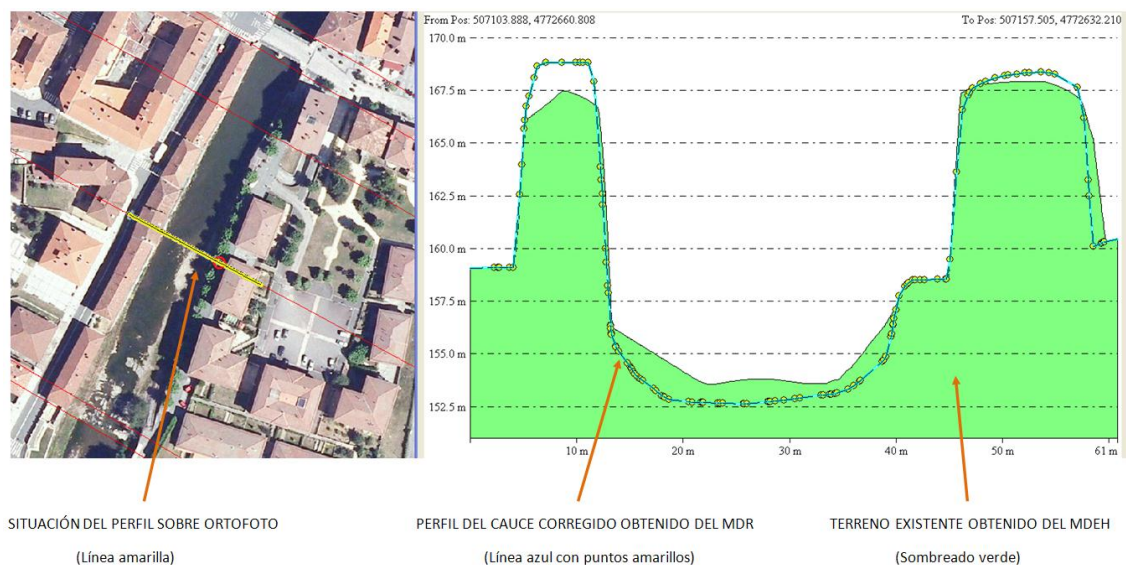


Figura 84. Perfil de comparación entre el MDEH y el MDR

4) EL MDR es el Modelo Digital del Terreno sobre el que se trabaja y se trasladan los resultados obtenidos de los cálculos hidráulicos al espacio, para obtener la delimitación de las zonas inundables y las distribuciones de calado y velocidad asociadas.

5) El MDT de los cauces obtenido mediante las labores de topografía y batimetría, se calcula a partir de datos de elevación del terreno y de las zonas sumergidas. Estos datos vectoriales (puntos y líneas de ruptura) permiten representar dicho MDT mediante una TIN (Triangular Irregular Network). Para integrar este MDT (formato TIN) con el MDEH (formato

RÁSTER ó GRID) a fin de generar el MDR, se necesita convertirlo a RÁSTER. Esta conversión del MDT-TIN a MDT-RASTER, hace perder la definición precisa del cauce.

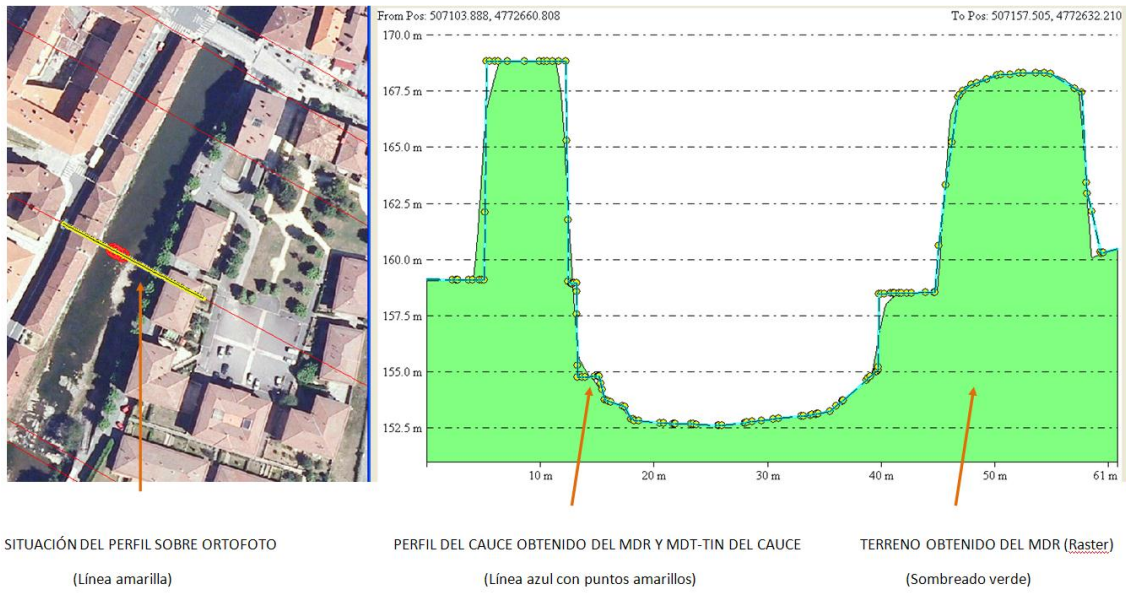


Figura 85. Perfil de comparación entre el MDR y el MDR+TIN del cauce

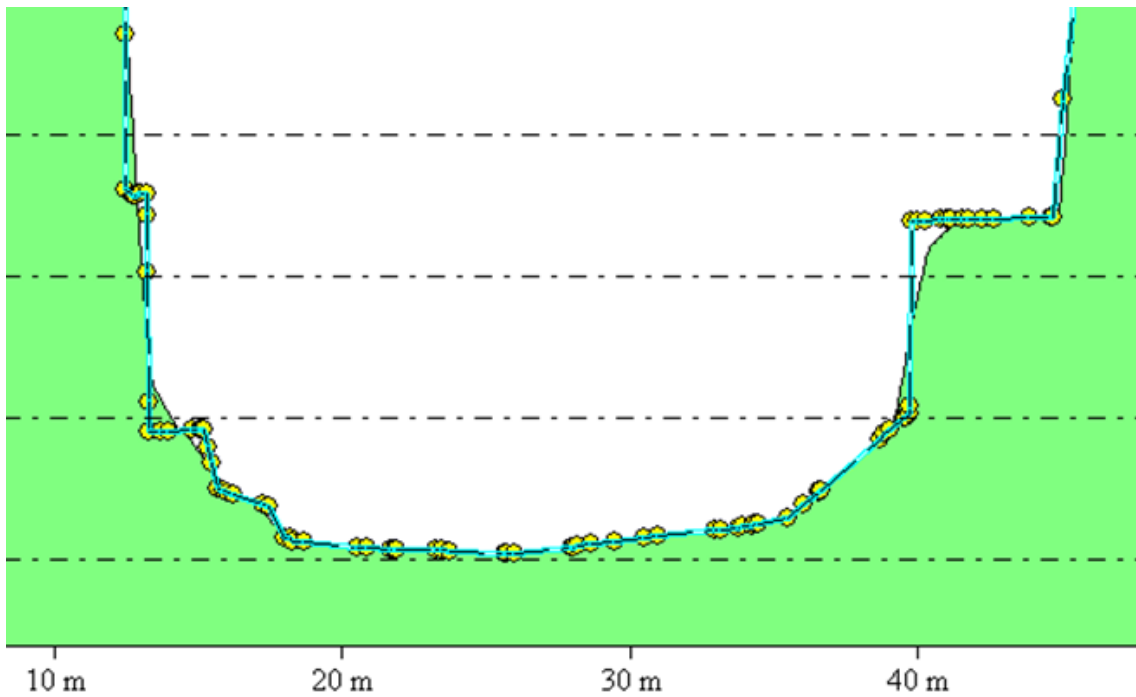


Figura 86. Perfil de comparación entre el MDR y el MDR+TIN del cauce. Imagen ampliada.



6) A la hora de introducir el modelo geométrico del río en el software elegido por Ur Agetzia (versión 4.1 del software HEC-RAS desarrollado por el Hydrologic Engineering Center para el U.S. Army Corp of Engineers) para el cálculo de las zonas inundables, se ha tenido en cuenta que los perfiles transversales tengan la definición del MDT-TIN en la zona del cauce levantado y del MDR (Ráster) en el resto de su extensión. Dado que no existe ningún software comercial que permita la obtención automática de estos perfiles cortando un MDT RASTER y una TIN de forma conjunta, se ha desarrollado una aplicación propia (CADHEC) para la realización de estos trabajos.

7) Sin la realización de estos trabajos los resultados de los mapas de inundación no tendrían la calidad ni la definición que tienen actualmente, y son la base fundamental para la elaboración de los mapas de peligrosidad y riesgo.

Los mapas de peligrosidad y riesgo elaborados a partir de la información descrita, al proporcionar una visión realista y precisa del problema, constituyen un instrumento eficaz para la gestión futura del riesgo de inundación asociado a las zonas más problemáticas del territorio, asegurando un eficiente empleo de los recursos económicos disponibles para la mitigación de los daños potenciales y una compatibilización más sostenible de las necesidades de desarrollo de la sociedad con los riesgos naturales del medio físico ocupado.

## 8.- BIBLIOGRAFÍA

En este apartado final se adjunta una relación de la Bibliografía utilizada para el desarrollo de este trabajo.

### 8.1.- Libros y manuales

**SHAN, J. AND TOTH, C.K.** “*Topographic Laser Ranging and Scanning: Principles and Processing.*” Florida: 1<sup>st</sup> Ed. CRC Press Taylor & Francis Group, 2008. **I.S.B.N. 978-1-4200-5142-1.**

**MANUE, DAVID F.A. AND AMERICAN SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING** “*Digital Elevation Model Technologies and Applications: The Dem Users Manual*” Minesota: 2<sup>nd</sup> Ed. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, 2007 **I.S.B.N. 978-1-5708-3082-2.**

**DIEZ HERRERO, A.; LAÍN HUERTA, L. Y LLORENTE ISIDRO, M.** “*Mapas de peligrosidad por avenidas e inundaciones: guía metodológica para su elaboración*” Madrid 1ª 2008 Ed. Instituto Geológico y Minero de España **I.S.B.N. 978-8-4784-0770-5.**

**GARY W. BRUNNER, CEIWR-HEC** “*HEC-RAS River Analysis System User’s Manual Version 4.1*” Davis, California: CPD-68 US Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center 2010 **Approved for Public Release.**

**GARY W. BRUNNER** “*HEC-RAS River Analysis System Hydraulic Reference Manual Version 4.1*” Davis, California: CPD-69 US Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center 2010 **Approved for Public Release.**

**JOHN C. WARNER, GARY W. BRUNNER, BRENT C. WOLFE AND STEVEN S. PIPER** “*HEC-RAS River Analysis System Applications Guide Version 4.1*” Davis, California: CPD-70 US Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources, Hydrologic Engineering Center 2010 **Approved for Public Release.**

## 8.2.- Información obtenida de Internet

**APLITOP APLICACIONES DE TOPOGRAFÍA E INGENIERÍA CIVIL** “Manuales y software de cálculos topográficos MDT y MDT Point Cloud” [en red] Disponible:

<http://www.aplitop.com/aplitop/index.aspx> [Consulta: Enero 2011 – Mayo 2014].

**LEICA GEOSYSTEMS** “Manuales de instrumentos y software topográficos” [en red]

Disponible: <http://www.leica-geosystems.es/es/index.htm> [Consulta: Marzo 2014].

**US ARMY CORPS OF ENGINEERS** “Software HEC-RAS, manuales y guías” [en red]

Disponible: <http://www.hec.usace.army.mil/> [Consulta: Enero 2011 – Marzo 2014].

**PYTHON SOFTWARE FOUNDATION** “Software de programación python, manuals y librerías”

[en red] Disponible: <https://www.python.org> [Consulta: Julio 2011 – Marzo 2014].

**PYTHON PACKAGE INDEX: REPOSITORY OF SOFTWARE** “is a repository of software for the Python programming language. There are currently 45000 packages” [en red] Disponible:

<https://pypi.python.org/pypi> [Consulta: Enero 2012 – Mayo 2014].

**MATPLOTLIB** “librería de python para manejo de TIN y curvados” [en red] Disponible:

<http://matplotlib.org/index.html> [Consulta: Enero 2012 – Mayo 2014].

**QGIS** “Sistema de información Geográfica libre y de código abierto” [en red] Disponible:

<http://www.qgis.org/es/site/> [Consulta: Enero 2012 – Mayo 2014].

**SPDLIB** “Set of open source software tools for processing laser scanning data (i.e., LiDAR),” [en red] Disponible: <http://www.spdlib.org/doku.php> [Consulta: Enero 2012 – Mayo 2014].

**MEMORIA RESUMEN DE LOS MAPAS DE PELIGROSIDAD Y RIESGO DE INUNDACION** [en red]

Disponible:

[http://www.uragentzia.euskadi.net/contenidos/informacion/2013\\_consulta\\_mapas/es\\_def/adjuntos/memoria\\_es.pdf](http://www.uragentzia.euskadi.net/contenidos/informacion/2013_consulta_mapas/es_def/adjuntos/memoria_es.pdf) [Consulta: Mayo 2014].

Mapas de peligrosidad y riesgo de las Áreas de Riesgo Potencial Significativo de Inundación (ARPSIs) de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico Oriental en el ámbito de las Cuencas Internas de la CAPV. [en red] Disponible:

[http://www.uragentzia.euskadi.net/u81-0003/es/contenidos/informacion/2013\\_consulta\\_mapas/es\\_def/index.shtml](http://www.uragentzia.euskadi.net/u81-0003/es/contenidos/informacion/2013_consulta_mapas/es_def/index.shtml) [Consulta: Mayo 2014].

**ASPRS: AMERICAN SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY & REMOTE SENSING** “LAS specification Version 1.4-R13” [en red]

Disponible: [http://www.asprs.org/a/society/committees/standards/LAS\\_1\\_4\\_r13.pdf](http://www.asprs.org/a/society/committees/standards/LAS_1_4_r13.pdf) [Consulta: Agosto 20131 – Marzo 2014].

**RED GPS/GNSS DE EUSKADI** [en red] Disponible: <http://www.gps2.euskadi.net/> [Consulta: Mayo 2014].

## GLOSARIO

**ARPSI:** Áreas de Riesgo Potencial Significativo por Inundación.

**ASPRS:** American Society for Photogrammetry & Remote Sensing.

**Azud:** Presa pequeña construida en los cauces de los ríos para crear un embalse artificial.

**CAPV:** Comunidad Autónoma del País Vasco.

**DWG:** formato de archivo informático de dibujo asistido por ordenador, utilizado principalmente por el programa AutoCAD, producto de la compañía Autodesk. El nombre de la extensión .dwg se originó de la palabra inglesa "drawing". Se limitó a tres caracteres después del punto, por protocolos y limitaciones del sistema operativo MS-DOS. Almacena la información del dibujo en 3 dimensiones de forma vectorial.

**DXF:** (*Drawing eXchange File*), fichero ASCII para el intercambio de ficheros CAD (Computer-aided design).

**GNSS:** Sistema Global de Posicionamiento por satélite.

**HEC-RAS:** software de uso libre creado por el Centro de Ingeniería Hidrológica (Hydrologic Engineering Center) del Cuerpo de Ingenieros de la armada de los EE.UU. (US Army Corps of Engineering). Sirve para modelizar el flujo del agua en cauces naturales o canales artificiales.

**LAS:** formato de archivo público cuya especificación ha sido desarrollada por la ASPRS que permite el intercambio de ficheros que contienen información de una nube de puntos tridimensional. Es un archivo binario que mantiene toda la información procedente de la tecnología LIDAR y conserva la misma según la propia naturaleza de los datos y del sistema de captura; se ha convertido en un estándar para trabajar con datos LIDAR.

**LIDAR:** Light Detection and Ranging o Laser Imaging Detection and Ranging; tecnología que permite determinar la distancia desde un emisor láser a un objeto o superficie utilizando un haz láser pulsado. Su aplicación en topografía nos permite realizar una toma de datos masiva para realizar mapas a gran escala.

**MDE:** Modelo Digital de Elevaciones. Es un tipo de MDT en el que la variable representada es la cota del terreno.

**MDEH:** tipo de MDE que generó Gobierno Vasco, Servicio de Información Territorial del departamento de Política Territorial para realizar los estudios Hidráulicos.

**MDR:** tipo de MDE que generó Ingeniería Cartográfica GAROA, S.L. para URA (Agencia Vasca del Agua) en el que los cauces de los ríos aparecen corregidos.

**MDT:** Modelo Digital de Terreno; es una estructura numérica de datos que representa la distribución espacial de una variable cuantitativa y continua.

**RTK:** del inglés *Real Time Kinematic*, consiste en la técnica usada en topografía de recibir corrección en tiempo real desde una estación GNSS de referencia, permitiendo obtener coordenadas con precisión de centímetros.