

# Medición 3D de la Cueva de Sant Josep

Confección de la 6ª planimetría. Campaña de exploración 2015-2023

## Resumen

En este artículo se van a explicar los trabajos topográficos realizados entre los años 2018 y 2022 durante la campaña de exploración espeleológica de les Coves de Sant Josep. El objetivo de ese trabajo ha sido la confección de la 6ª planimetría de la cavidad empleando tecnología de medición 3D mediante captura masiva de datos.

## Introducción

La Cueva de San Jose es una de las cavidades más estudiadas y visitadas de España, superando la cifra de 240.000 visitantes en el año 2023. Prueba de ello son los numerosos informes, estudios y artículos, más de 150, realizados desde la publicación de Antonio José Cavanilles<sup>1</sup> a finales del siglo XVIII hasta la actualidad.

Las cinco planimetrías disponibles de la cueva, realizadas entre los años 1.959 y 1.993 con

mayor o menor grado de exactitud, comparten el mismo problema, que es la nula georreferenciación en el sistema geodésico oficial, ED-50 en el momento de su confección, y ETRS89 en el momento actual, ambos en proyección U.T.M 30N. Además, todas han sido observadas con brújula midiendo los ángulos respecto al norte magnético, y no al norte geográfico o norte cuadrícula.

Los trabajos de medición que se van a describir a continuación, se han abordado plan-

<sup>1</sup> Cavanilles, Antonio José, 1745-1804. Observaciones sobre la historia natural, geografía, agricultura, población y frutos del Reyno de Valencia (1797).

54 teando una solución técnica que permitiera en primer lugar la medición en 3D mediante captura masiva de datos, del trazado de la cavidad y no punto a punto como se venía realizando de forma tradicional; por otro lado, se ha medido el entorno más inmediato a la cavidad situado en la superficie.

## Medición 3D de la 6ª Planimetría

El trabajo de medición realizado en la cavidad, al igual como ocurre en otros aspectos de la vida, surgió de forma casual. A principios del año 2018, se planteó por parte de Jose Enrique Puchol Aragonés, técnico de turismo del Ayuntamiento de La Vall d'Uixó, la posibilidad y viabilidad de medición de la cueva con equipos modernos ya que se desconocía de forma precisa su trazado en superficie. Analizados los inconvenientes ocasionados por el propio río navegable, el verano de 2018 se realizó una primera visita con el bombero y espeleólogo Guillem Nebot, con el fin evaluar el estado de las galerías en cuanto a su geometría y condiciones de medición, no solo de la parte visitable, también de la zona no urbanizada, incluso llegando hasta el primer sifón, situado a más de un kilómetro de la boca de entrada. Se puso de manifiesto los mismos problemas que se tuvieron en los últimos 50 años para la realización de las planimetrías:

- En primer problema, la existencia de parte del trazado en un curso fluvial sin posibilidad de estacionar ningún equipo topográfico moderno.
- En segundo problema, la geometría de la propia cavidad y la existencia de puntos donde el espacio es reducido obliga a realizar, en condiciones normales, visuales muy heterogéneas, combinando distancias muy cortas con distancias largas, lo que puede generar un error angular elevado.
- En tercer problema, la escasa iluminación que permita realizar observaciones con equipos óptico-mecánicos como teodolitos de precisión o niveles ópticos, fundamentalmente en la parte no visitable.

Ante estas dificultades encontradas, se barajaron varias posibilidades:

La primera solución fue optar por el empleo de métodos convencionales empleados en

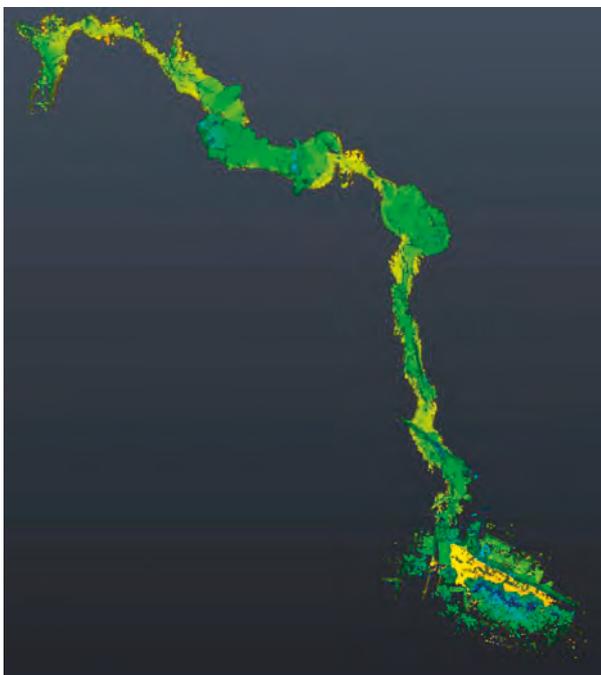
topografía subterránea, consistentes en fijar en la roca mediante la perforación y atornillado, bases fijas para estacionar el instrumento topográfico tipo estación total, idea que se desestimó debido al número de puntos necesarios para realizar la medición.

En segundo lugar, se barajó la posibilidad de realizar la captura masiva de datos mediante la utilización de un escáner 3D, pero al igual que ocurría con la estación total, requería de ser estacionado en las paredes de la cavidad, con un número muy elevado de estacionamientos.

Por último, se planteó la opción de utilizar laser escáneres móviles o dinámicos, montados sobre plataformas en movimiento, siendo en este caso la plataforma el propio operador. Estos equipos permiten realizar mediciones en movimiento empleando un motor que hace girar el propio laser en todas las direcciones, de forma que, si nos movemos a una velocidad adecuada, podemos medir todo nuestro entorno. Hechas las consultas con los compañeros de la casa de instrumentos topográficos Leica Geosystems en Valencia y explicando el entorno y condiciones de observación observadas, se mostró la posibilidad de medición empleando un equipo Leica Pegasus Backpack. Finalmente se desestimó la idea debido a la larga duración del trayecto en barca. Esto ocasionaba que el equipo estuviera demasiado tiempo sin la señal satelital necesaria y en consecuencia no pudiera obtener datos fiables. Se sumaba la existencia de varias zonas estrechas en los sifones barrenados, lo cual obligaba a ocupar una posición oculta dentro de la embarcación, no sabiendo tampoco la respuesta del equipo y si podía medir y referenciar los puntos suficientes para obtener buenos resultados.

Por lo tanto, únicamente nos quedaba la posibilidad de utilizar un equipo, que en 2018 llevaba en el mercado poco más de un año, aunque la tecnología empleada ya era conocida desde principios de la década, y me refiero al laser escáner móvil o dinámico Geoslam modelo ZEB- REVO, que al igual que el equipo explicado anteriormente, realiza las mediciones en movimiento.

## Prueba inicial equipo Validación del método



Resultado medición de prueba. Septiembre 2018

Con el equipo Geoslam REVO-ZEB, se debe iniciar la medición en un punto de referencia y terminar siempre en el mismo punto, estable y horizontal. Las mediciones se deben de realizar siempre recorriendo el mismo camino de ida y vuelta y no se deben de realizar mediciones que superen los 15 -17 minutos, no superando nunca los 20 minutos. La principal ventaja es la innecesaridad de estacionarlo de forma convencional sobre un trípode.

Con la existencia de este tipo de tecnología se nos abrió la posibilidad de salvar el problema planteado con el equipo anterior, ya que este no necesita el apoyo de señal satelital.

Otro de los factores determinantes para la realización de los trabajos es la existencia de una tienda comercial de equipos de topografía en Valencia, en concreto Instop Topomarket Valencia, distribuidor oficial en ese momento de la firma GeoSlam y Leica Geosystems entre otras y que disponía del equipo en alquiler, una suerte debido a la escasa existencia de unidades en España; se pudo ir a ver el equipo, y explicar la peculiaridad del entorno de medición a los compañeros.

A principios del mes de septiembre de 2018 se nos ofreció la posibilidad de realizar una prueba en el interior de la propia cavidad, de manera que pudiéramos comprobar y corroborar que era posible realizar la medición, uniendo en un único escaneo el tramo comprendido entre la entrada de la cavidad y el inicio de la galería seca, zona más difícil de medir por el agua del río.

La prueba se realizó de forma conjunta, con el técnico de Topomarket Valencia, Toni Agustí, y el personal de Coves de Sant Josep, Pedro Ramón Lara. Una vez finalizado el recorrido en barca y descargados los puntos, se visualizaron los datos en un programa al uso, siendo un éxito. Se obtuvo una nube compacta mono color con un total de 35.053.610



Momento de la toma de datos. Septiembre 2018.

56 millones de puntos y con la suficiente densidad que permite apreciar la forma y dimensiones de la cavidad.

Quiero reiterar de nuevo mi agradecimiento a Toni Agustí y Alexa Ferrer, compañeros de Instop Topomarket Valencia, por su colaboración y su ayuda desinteresada en la realización de dicha prueba, ya que fue el detonante de todos los trabajos realizados posteriormente, y sin su ayuda y colaboración no hubiera sido posible realizar el presente trabajo.

Con los resultados obtenidos, se iniciaron las gestiones con el Ayuntamiento de La Vall d'Uixó, celebrando una reunión en octubre del mismo año con Jorge García Fernández, concejal de ayuntamiento y consejero delegado de Emsevall, empresa pública que gestiona Les Coves de Sant Josep. Se explicó la posibilidad abierta con el nuevo equipo y la planificación de los trabajos a realizar en el interior de la cueva para la correcta medición de su trazado, de forma que no obstaculizase la actividad turística de la propia cueva. La reunión fue positiva y se facilitó la entrada a la cavidad, doy las gracias también a Jorge por su apoyo incondicional en el proyecto de medición propuesto.

## Metodología y Planificación de los trabajos de campo

Debido al éxito en la medición obtenida el 4 de septiembre, se planifica de forma general los trabajos a realizar, mediante la utilización

de varios equipos topográficos. Se plantearon varias fases de medición:

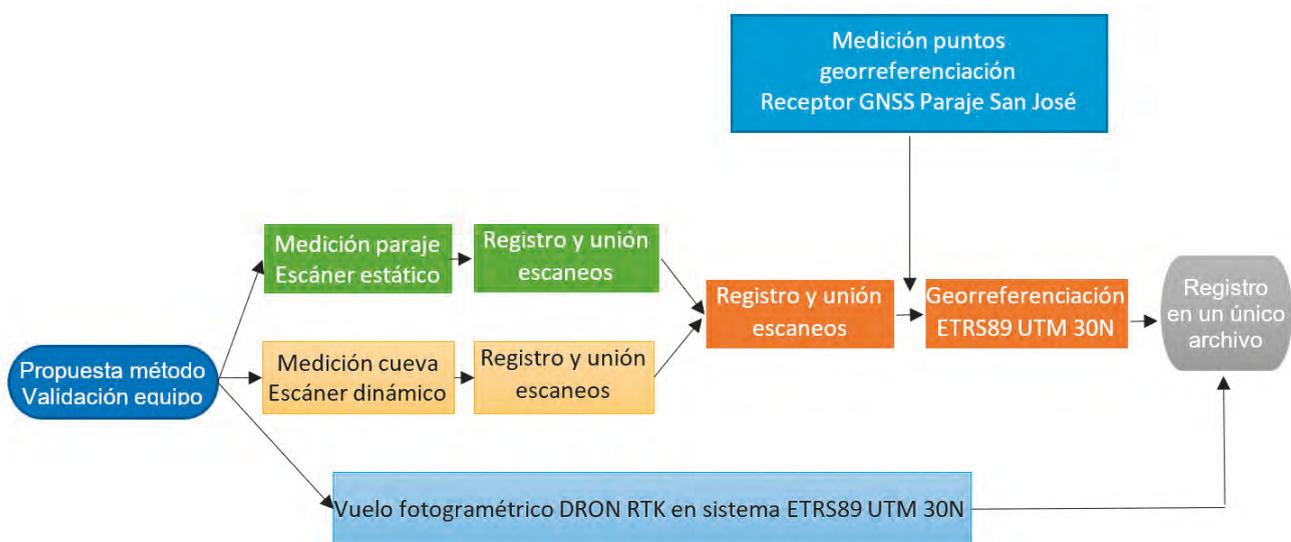
Fase 1: medición empleando láser escáner estático, es decir un equipo que necesariamente tiene que estar estacionado de forma fija y estable en el terreno sin posibilidad de moverse en el momento de realizar la medición; sería utilizado para la medición del conjunto del paraje de San José, debido a la existencia de numerosos árboles y vegetación que hace no visible desde el aire los elementos constructivos. Se escanearía todo el paraje de San José estacionando el equipo por ambos márgenes del río y por su cauce.

Fase 2: medición del interior de la cueva y de las inmediaciones de la boca de entrada empleando laser escáner dinámico. Se mediría toda la cavidad, desde la boca de entrada hasta el inicio del primer sifón, solapando puntos medidos, que permitiera unir los datos del interior y del exterior.

Fase 3: medición de puntos de control en el paraje, de elementos que se pudieran identificar en la nube obtenida con escáner estático para poder georreferenciar las demás nubes de puntos.

Fase 4: medición empleando Dron RTK del terreno aproximado que ocupa la cavidad en superficie, formado por la urbanización situada al norte de la carretera de Alfondegulla y parte del propio paraje.

A continuación, se muestra el diagrama de flujo establecido a priori:



La cronología de los trabajos quedó por determinar, debido a que tanto la utilización del equipo estático como del software necesario se realizaría en función de la disponibilidad de los mismos, es decir, la disponibilidad de estos en mi ámbito profesional, quedando libres en momentos muy concretos; todo lo que se refiere a la disponibilidad del software de oficina ha marcado la evolución de los trabajos realizados.

## Medición Paraje San José

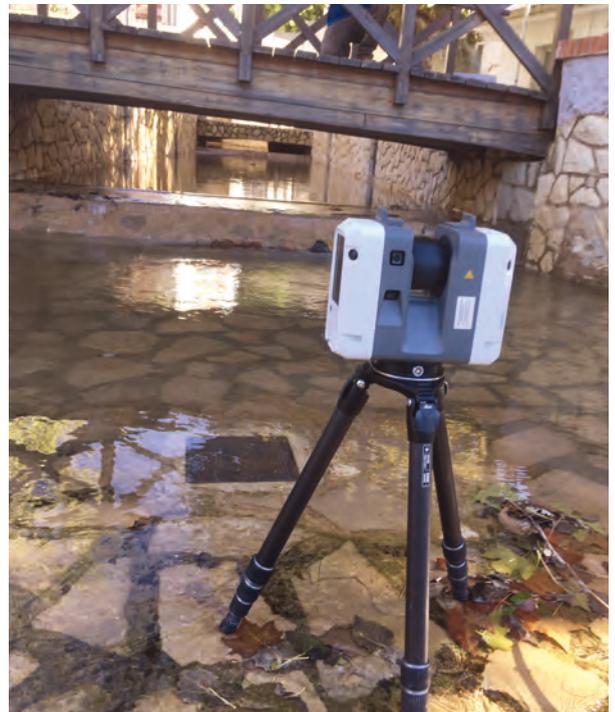
La medición del paraje de San José con equipo laser escáner estático se realizó el día 1 de noviembre de 2018, empleando un equipo de la marca Leica modelo RTC360, acabado de salir al mercado, iniciándose junto a las barcas situadas en el inicio del paraje, realizando un recorrido por el margen izquierdo y derecho del rio Belcaire.

Los trabajos fueron realizados con la inestimable ayuda de Guillem Nebot, dándose por finalizada la medición a las 10:30 y se realizaron un total de 43 estacionamiento, con un tamaño total de archivos de 21,6 Gb, midiendo un total de 587.610.686 millones de puntos.

## Medición interior Cova de Sant Josep

La medición del interior de la cueva fue un proceso más complicado que la medición exterior debido a los propios condicionantes del espacio a medir. El equipo utilizado para la medición está compuesto por un cabezal rotatorio que se coge con una mano y lleva montado en una mochila, colgada a la espalda, la unidad de procesamiento y disco duro que almacena los datos observados. Es un equipo parecido a un ordenador portátil, no siendo las condiciones ideales de medición las propias de una cavidad con un alto índice de humedad incluso con la posibilidad de caer al agua en el propio trabajo de medición, lo que ocasionaría su rotura irreparable.

El día 2 de marzo de 2.019 se mantuvo de nuevo otra reunión con el concejal delegado de Emsevall, Jorge García, presentándole un informe con los resultados conseguidos en el mes de septiembre y de los trabajos realizados en el exterior en el mes de noviembre, plan-



Resultado medición de prueba. Septiembre 2018

teándole la posibilidad de hacer una prueba en condiciones reales. Esta se realizó con una pequeña embarcación neumática, de manera que pudiera atravesarse el ultimo sifón dinamitado, el cual ofrece un espacio muy reducido entre la roca y el agua, existiendo peligro en mojar el equipo de medición y en poder medir puntos.

La prueba se realizó el día 23 de marzo aprovechando el dispositivo organizado con motivo de la exploración realizada por los espeleo-buceadores. Se probó la embarcación con un equipo de 8 personas y se simuló el paso en el último sifón barrenado, transportando la barca hasta la propia sala d'en Vicent y la entrada al primer sifón, cronometrando tiempos de medición. La prueba con la embarcación resulto positiva y se estimó que era posible realizar la medición con cierta garantía de éxito.

Finalmente, el escaneo 3D se realizó el día 30 de marzo, iniciando los trabajos a las 7:00 de la mañana en la boca de entrada.

Se realizaron un total de 10 escaneos con una media de 17 minutos de medición en recorrido de ida y vuelta, con el apoyo de 15 personas encabezadas por Guillem Nebot, miembros de espeleoclub de La Vall, personal de Coves de Sant Josep y Vicente Pitarch Gregori que hacía las funciones de auxiliar en las mediciones topográficas, además del propio opera-



Equipo utilizado en la medición de la cavidad.

dor del escáner. Se grabaron todas las operaciones de medición con una cámara de acción GoPro y se realizaron fotografías de los tiempos de medición empleados. Para facilitar la unión de los escaneos y tener referencia de hasta donde se iba midiendo, se utilizaron conos de señalización de obra de color naranja. Se situaron dos al inicio de cada tramo de medición y dos más situados al final, en el punto donde se iniciaba el camino de vuelta, los cuales se iban desplazando de forma solidaria en el avance de la medición, siendo un punto de referencia en la cavidad para mar-

car donde había que iniciar el siguiente tramo y en gabinete utilizados para hacer la unión de las diferentes nubes de puntos medidas.

Una vez llegado a la parte más profunda de la cavidad, en la sala anterior al primer sifón, se instaló una cadena colgada sobre el techo de piedra a la cual se orientó el equipo en el momento de la medición para registrar su posición y tratar de darle coordenadas que sirvieran de referencia en futuras actuaciones. A continuación, se muestra una tabla resumen de los escaneos realizados:

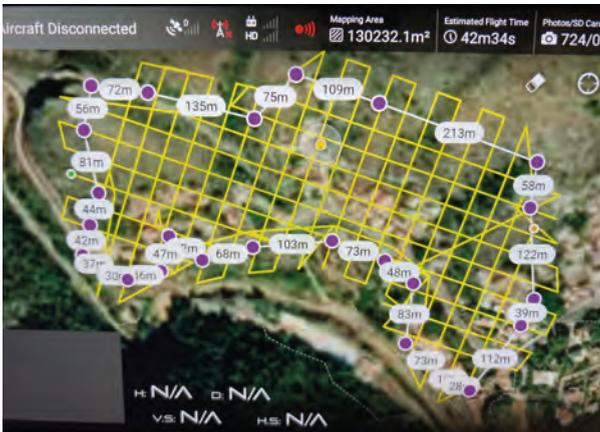
## Vuelo fotogramétrico

Una vez medidos los puntos pertenecientes al paraje de San José y al interior de la cueva, únicamente quedaba por medir el entorno de la propia cavidad. Para la medición de los datos de superficie también se barajaron varias posibilidades, todas relacionadas con la captura masiva de datos, puesto que el objetivo final era poder superponer en 3D ambas mediciones.

En un primer momento se pensó en la idea de utilizar un equipo laser estático incluso se barajó la posibilidad de escanear con un sistema de mobile mapping<sup>2</sup> montado sobre una mochila, explicado anteriormente, pero debido al alto coste y al no tener la posibilidad de realizar ningún alquiler ligado a un encargo profesional (el coste del alquiler es significativo) se desechó la idea por razones obvias.

Nº escaneo	Día	Hora inicio (Hr_min_seg)	Duración (Hr_min_seg)	Puntos medidos
0	09/04/2018	9:22:18	18:55:13	35.045.759
1	30/03/2019	7:10:34	17:41:43	26.620.519
2	30/03/2019	7:41:53	17:05:20	23.349.256
3	30/03/2019	8:03:31	18:07:26	28.343.720
4	30/03/2019	8:30:30	18:32:39	-----
5	30/03/2019	8:55:32	16:18:53	31.183.882
6	30/03/2019	11:19:25		25.740.687
7	30/03/2019	11:53:02		28.394.638
8	30/03/2019	12:17:29		26.262.114
9	30/03/2019	12:41:04		30.121.738
10	30/03/2019	13:32:22		12.430.550
11	16/04/2019	9:31:10		21.584.342

<sup>2</sup> El mapeo móvil o mobile mapping es una metodología de escaneo láser que se realiza con un dispositivo en movimiento instalada habitualmente en un vehículo o una persona y realiza la toma de datos a medida que se mueve por el espacio, registrando posiciones GPS en tiempo real.



Plan de vuelo realizado en el Paraje de San José

Por último, se optó por la solución de un vuelo fotogramétrico de precisión, empleando un dron con tecnología RTK debido a que se podría cubrir mayor superficie de medición sin ocasionar molestias ni invadir ninguna propiedad privada y además se disponía tanto de la aeronave RTK, como del receptor satelital y por supuesto de la habilitación como operadora de drones y titulación de piloto.

La medición con Dron consiste básicamente en volar una aeronave de forma autónoma que va tomando fotografías en un área fijada previamente en gabinete. Con todas las fotografías realizadas y con el software apropiado, mediante técnicas de fotogrametría se obtiene una ortofoto de precisión y un archivo de puntos formado por millones de estos (nube de puntos), con la peculiaridad de que los datos obtenidos ya están georeferenciados.

Se definió un área a volar, según la zona de afección estima en gabinete, obteniendo el siguiente plan de vuelo:

Una vez definida el área de vuelo y densificados en campo los puntos de control terrestres, se despegó la aeronave siguiendo el plan de vuelo preestablecido en gabinete.

Se realizó un primer vuelo de prueba el día 31 de mayo de 2.019, validando la zona a medir y la altura de vuelo, que tuvo como resultado el ajuste definitivo del área de interés. Finalmente, el día 4 de junio, a una altura vuelo de 100 m, recubrimiento longitudinal y transversal del 80% y utilizando una doble malla se tomaron un total de 680 fotografías.

El resultado del vuelo fotogramétrico se muestra a continuación en forma de ortofoto:

### Trabajo de gabinete

El trabajo se realizó una vez finalizados los trabajos de campo.

Ha consistido fundamentalmente en el registro en un único archivo, de los distintos archivos de puntos obtenidos en las diferentes mediciones.

Entendemos como registro, la unión de dos o más nubes de puntos o archivos en una única nube; este proceso se ha realizado mediante la comparación de nube contra nube, de forma consecutiva y a través de los puntos co-



Resultado del vuelo fotogramétrico. Ortofoto.

60 munes a ambas nubes. De forma resumida se enumeran los procesos de registro realizados:

- Registro nº 1: unión de los puntos medidos en el interior de la cueva.
- Registro nº 2: unión de los puntos medidos en el paraje.
- Registro nº 3: unión de los registros nº 1 y nº 2. Archivo en sistema de referencia local.
- Registro nº 4: Georref. registro nº 3 en sistema de referencia global ETRS89 UTM30N.
- Registro nº 5: unión registro nº 4 con puntos procedentes del vuelo Dron RTK.

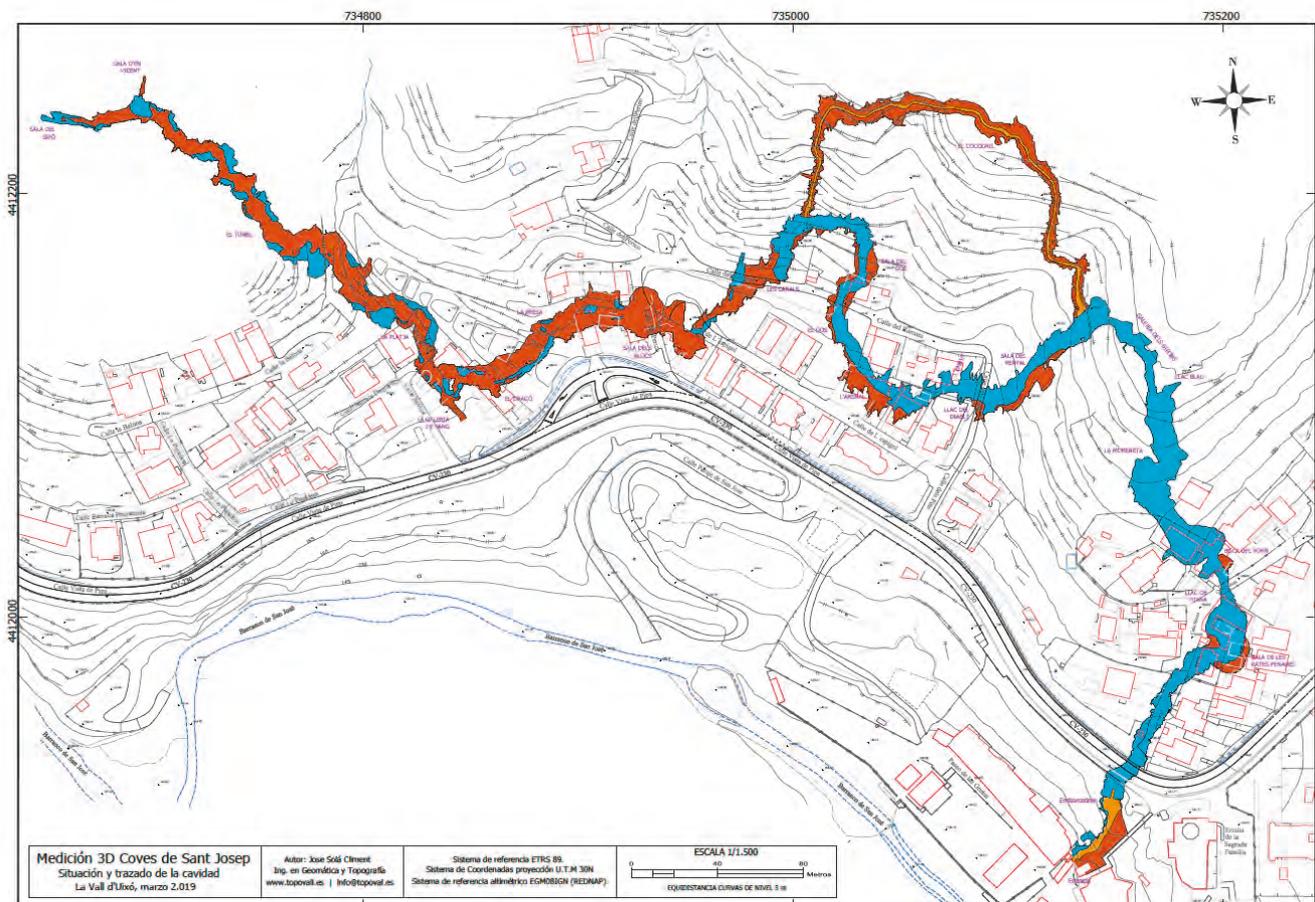
El registro nº4 fue realizado a partir de la medición de 4 puntos identificados de forma inequívoca en el paraje y en la nube de puntos local obtenida en el registro nº 3, permitiendo georreferenciar la nube la nube del sistema de coordenadas local.

Es importante resaltar que el procesamiento y registro de todos los escaneos fue realizándose



Resultado del registro nº 3. Sistema de referencia local

a medida que se tenía licencia disponible del software Leica Cyclone, en el período 2.019 - 2.022. En septiembre de 2.022, retomados los trabajos para la redacción de una publicación más extensa que todavía está realizándose, ocurrió un hecho que invitó a reprocesar todo el trabajo y fusionar de nuevo todas las nubes de puntos obtenidas, en nuevo archivo. El hecho fue la aparición en agosto del mismo año de una nueva versión del programa Leica REGISTER360 v.2022.1.0, que permitía la importación de cualquier tipo de nube de puntos<sup>3</sup>, fuera cual fuera su procedencia, es



Resultado del registro nº 3. Sistema de referencia local

decir, permitía importar en el mismo trabajo la nube creada con el equipo estático, dinámico y con el dron, característica no disponible hasta la fecha.

El resultado final ha sido una única nube georreferenciada, a partir de la cual se han extraído las coordenadas de elementos concretos de esa nube, como son las tres posiciones identificadas en el trabajo de ADOR Ingeniería en el año 2.003<sup>4</sup> pertenecientes a los puntos de la radiolocalización, y las coordenadas de la cadena colgada en la última galería antes del primer sifón.

A continuación, se muestra una imagen de la planimetría obtenida:

## Productos derivados

Una vez obtenido el archivo conjunto de los puntos medidos en el exterior y en el interior de la cueva de forma georreferenciada, podemos obtener varias aplicaciones al tratar informáticamente dicha información.

- En primer lugar, la confección de la propia planimetría, formada por la situación en planta del trazado de la cavidad sobre cualquier vuelo cartográfico que la sitúen en su entorno más inmediato, sobre la ortofoto de alta resolución obtenida con el dron o incluso una superposición con propia cartografía catastral, para comprobar las propiedades situadas en la zona de afección de la infraestructura turística y el resto de la cavidad.
- En segundo lugar, la confección de perfiles longitudinales por el techo de la cavidad y por el suelo, y perfiles transversales con la equidistancia deseada, cada 10 metros o 10 cm.
- En tercer lugar, es realmente fácil la confección de un visor web, de forma que se pueda consultar el conjunto de datos obtenido sin instalar ningún programa informático, y desde cualquier aplicación móvil. En este sentido se ha creado un visor web "open source" conocido con Potre, utilizando la tecnología



Imagen del visor web generado

3 El programa Leica REGISTER360 es la versión mejorada del programa Leica Cyclone, ofreciendo mayor precisión a la hora de realizar el registro nube a nube de forma manual, por lo que se consideró que se debía intentar mejorar el resultado final para descartar el error en la unión de las nubes, consiguiendo una menor diferencia con las coordenadas obtenidas por ADOR Ingeniería.

4 Garay,P. Medina,R. Blázquez,A. (1994) Estudio de la Cova de Sant Josep. Parte 1: topografía. Lapiaz núm. 23. Federació Valenciana Espeleologia.

62 desarrollada por Markus Schütz de la Universidad de Viena, que permite visualizar de manera bastante sencilla datos LiDAR directamente en el navegador web, y cuya creación es realmente sencilla y que se puede visualizar en el siguiente código QR5:



- En cuarto lugar, otra aplicación inmediata en la impresión 3D de la cavidad, si bien es cierto que con la nube de puntos de la cueva necesitamos generar un modelo 3D cerrado, para que pueda ser importado en los programas utilizados por las impresoras 3D, esta operación es fácilmente realizable con software gratuito tipo MeshLab o CloudCompare.

- En quinto lugar, otra aplicación inmediata sería la realización de paseos virtuales, bien por el interior de la propia nube de puntos del conjunto (cueva y terreno) o por el modelo 3D explicado en el párrafo anterior. Esta aplicación requeriría más trabajo debido a que la nube correspondiente al interior de la cueva carece de color, por lo tanto, la visualización tendría que realizarse en escala de grises, o con cualquier otra rampa de color tipo topográfica, común en los programas de gestión de nubes de puntos.

Como se ha explicado anteriormente, el tipo de medición realizada eleva a otro nivel de detalle el conocimiento de la cavidad y la relación con su entorno, sirviendo de base a otros estudios que permitan conocer mejor el sistema kárstico formado por la cueva de San José.

Jose Solá Climent. Ing. en Geomática y Topografía.  
Topovall GeoConsulting. La Vall d'Uixó, Castellón  
[www.topovall.es](http://www.topovall.es) [info@topovall.es](mailto:info@topovall.es)

# Scurion®



# SELAND