



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Geodésica,
Cartográfica y Topográfica

Renovación de la pavimentación principal del autódromo
Ricardo Tormo de Cheste:
Toma de datos topográficos con alta precisión

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Geomática y Topografía

AUTOR/A: Bigorne Falomir, Pablo

Tutor/a: Garrido Villén, Natalia

Cotutor/a externo: MIRA SOTO, ANTONIO ANGEL

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
DE INGENIERÍA GEODÉSICA
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Renovación de la pavimentación principal del autódromo Ricardo Tormo de Cheste



Autor: Pablo Bigorne Falomir

Tutor: Natalia Garrido Villen

8-9-2023

Compromiso

"El presente documento ha sido realizado completamente por el firmante; no ha sido entregado como otro trabajo académico previo y todo el material tomado de otras fuentes ha sido convenientemente entrecorillado y citado su origen en el texto, así como referenciado en la bibliografía".

Firmado por PABLO BIGORNE FALOMIR - NIF:***3433** con
un certificado emitido por ACCVCA-120

Resumen

El proyecto se basa en la instalación de una red geodésica de precisión, para el seguimiento y el control de la obra en el Circuito Ricardo Tormo ubicado en Cheste (Valencia). Para el cálculo de la altimetría se realizó una nivelación geométrica. Para el cálculo de las coordenadas planimétricas, X e Y, se utilizó la técnica de estático relativo GNSS. También se obtuvieron datos del circuito mediante láser escáner terrestre para, con máximas precisiones, poder crear una nube de puntos que permitió la realización de perfiles, con el propósito de identificar baches o agujeros existentes en la superficie actual, con el objetivo de eliminarlos durante el proceso de renovación. La nube de puntos se utilizó también para comprobar de forma ágil en qué estado se encontraba el fresado de la pista. Para acabar, se realizó un vuelo con dron para replantear las pinturas de la pista.

Palabras clave: circuito carreras; topografía; GNSS; láser escáner; drone

Summary

The project is based on the installation of a high-precision geodetic network. To calculate the altimetry, trigonometric leveling will be carried out. For the calculation of the planimetric coordinates, X and Y, the GNSS relative static technique will be used. Circuit data will also be obtained using a terrestrial laser scanner to, with maximum precision, be able to create a cloud of points that will allow the creation of profiles, with the purpose of identifying existing potholes or holes in the current surface, with the aim of eliminating them during the process. renewal process. The point cloud will also be used to check in an agile way what state the milling of the track is in. To finish, there will be a drone flight to reconsider the paintings on the track.

Keywords: racing circuit; topography; GNSS; laser scanner; drone

Resum

El projecte es basa en la instal·lació d'una xarxa geodèsica d'alta precisió. Per al càlcul de l'altimetria es realitzarà un anivellament trigonomètric. Per al càlcul de les coordenades planimètriques, X e Y, s'utilitzarà la tècnica d'estàtic relatiu GNSS. També s'obtidran dades del circuit mitjançant làser escàner terrestre per a, amb màximes precisions, poder crear un núvol de punts que permetrà la realització de perfils, amb el propòsit d'identificar sots o forats existents en la superfície actual, amb l'objectiu d'eliminar-los durant el procés de renovació. El núvol de punts s'utilitzarà també per a comprovar de manera àgil en quin estat està el fresat de la pista. Per a acabar, es farà un vol amb dron per a replantejar les pintures de la pista.

Paraules clau: circuit carreres; topografia; GNSS; làser escàner; dron

Índice de Figuras

FIGURA 1: ZONA DE TRABAJO VISUALIZADO DESDE GOOGLE MAPS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	12
FIGURA 2: CIRCUITO RICARDO TORMO EN VISUALIZADO DESDE GOOGLE MAPS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	12
FIGURA 3: ESQUEMA DE LA METODOLOGÍA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	15
FIGURA 4: MAPA DEL CIRCUITO. FUENTE: (PAVASAL, 2012)	18
FIGURA 5: HOJA TÉCNICA DE LA BASE DE VALENCIA: FUENTE: (ICV, 2023)	18
FIGURA 6: MAQUINARIA PARA SACAR MUESTRA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	19
FIGURA 7: MUESTRAS TOMADAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	19
FIGURA 8: BASES IMPLANTADAS SOBRE PIANOS, CERCA DE LA PISTA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	21
FIGURA 9: BASES NO IMPLANTADAS SOBRE PIANOS, UN POCO ALEJADO DE LA PISTA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	21
FIGURA 10: MAPA DE BASES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	22
FIGURA 11: GPS R2 DE TRIMBLE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	23
FIGURA 12: LIBRETA TSC5. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	23
FIGURA 13: ESTACIÓN ROBÓTICA S5. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	25
FIGURA 14: PRISMA MULTICARAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	25
FIGURA 15: CONFIGURACIONES DE NIVELACIÓN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	26
FIGURA 16: VISUALES DE NIVELACIÓN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	27
FIGURA 17: OPCIONES DEL ANILLO DE NIVELACIÓN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	27
FIGURA 18: AJUSTE DE UN SUBANILLO DE NIVELACIÓN, VISUALES 8023-8024. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	28
FIGURA 19:AJUSTE DE UN SUBANILLO DE NIVELACIÓN, VISUALES 8025-8026. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	28
FIGURA 20: CREACIÓN DEL TRABAJO PARA EL LEVANTAMIENTO ESTÁTICO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	30
FIGURA 21: SISTEMA DE COORDENADAS LEVANTAMIENTO ESTÁTICO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	30
FIGURA 22: CONFIGURACIÓN DEL LEVANTAMIENTO ESTÁTICO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	31
FIGURA 23: OPCIONES DEL "ESTÁTICO". FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	31
FIGURA 24: CONFIGURACIÓN PUNTO "FASTSTATIC". FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	32
FIGURA 25: IMPLANTACIÓN DE LA LÍNEA BASE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	32
FIGURA 26: RECORRIDO REALIZADO DURANTE EL LEVANTAMIENTO ESTÁTICO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	33
FIGURA 27: DESCARGA DE LOS DATOS DE BASE DEL ICV. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	34
FIGURA 28: HORAS DE TRABAJO CON LA BASE VCIA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	34
FIGURA 29: SOFTWARE TRIMBLE ACCESS BUINESS, PUESTA DE DATOS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	35
FIGURA 30: VERIFICACIÓN DE COORDENADAS DE VCIA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	35
FIGURA 31: VERIFICACIÓN DE CALIDAD DE PUNTOS DE VCIA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	36
FIGURA 32: LÍNEAS BASE CON VCIA Y NUESTRAS BASES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	36
FIGURA 33: ELIMINACIÓN DE ALGUNAS LÍNEAS BASE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	36
FIGURA 34: COORDENADAS CALCULADAS EN OFICINA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	37
FIGURA 35: COORDENADAS CALCULADAS POR EMPRESA SUBCONTRATA. FUENTE: GLOBAL.....	38
FIGURA 36: INSTRUMENTOS UTILIZADOS PARA EL LEVANTAMIENTO TAQUIMÉTRICO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	40
FIGURA 37: TOMA DE DATOS EN CAMPO, LEVANTAMIENTO TAQUIMÉTRICO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	41
FIGURA 38: RESULTADO DEL LEVANTAMIENTO TAQUIMÉTRICO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	42
FIGURA 39: ESCÁNER GLS-2200. FUENTE: PAGINA TOPCON.....	44
FIGURA 40: PROGRAMA MAGNET DE TOPCON. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	45
FIGURA 41: COMPROBACIONES DEL ESCANEADO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	46
FIGURA 42: NUBE DENSA DEL ESCANEADO EN EL SOFTWARE MAGNET. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	47
FIGURA 43: COMPROBACIÓN DE LAS DISTANCIAS DE PUNTOS EN LA NUBE. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	47
FIGURA 44: DRON PHANTOM 4 RTK. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	48
FIGURA 45: BASES PARA APOYO DE DRON. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	49
FIGURA 46: CONFIGURACIÓN DEL PLAN DE VUELO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	49
FIGURA 47: SEGUIMIENTO DEL VUELO DE DRON. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	50
FIGURA 48: ORTOFOTO REALIZADA CON DRON. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	50
FIGURA 49: MARCAJE DE LA CUADRICULA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	51
FIGURA 50: REPLANTEO DE COTAS CON EL MODELO DEL CIRCUITO PARA EL FRESADO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	52
FIGURA 51: COMPROBACIÓN DEL FRESADO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	53

FIGURA 52: INSTALACIÓN DE TOCHOS CON SUS COTAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	54
FIGURA 53: PUESTA DE LIENZA PARA GUIAR LAS MÁQUINAS Y NIVELAR EL ASFALTO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	54
FIGURA 54: REPRESENTACIÓN DE LÍNEAS BLANCAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	55
FIGURA 55: IMPLANTACIÓN DE LAS BASES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	56
FIGURA 56: NIVELACIÓN DE BASES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	56
FIGURA 57: GNSS ESTÁTICO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	57
FIGURA 58: LEVANTAMIENTO TAQUIMÉTRICO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	57
FIGURA 59: ESCANEADO DE LA PISTA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	58
FIGURA 60: ORTOFOTO DEL CIRCUITO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	58

Índice de Tablas

TABLA 1: CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACIÓN ROBÓTICA S5. FUENTE: PAGINA WEB DE TRIMBLE.....	24
TABLA 2: CARACTERÍSTICAS DE LOS RECEPTORES GPS R2. FUENTE: PAGINA WEB DE TRIMBLE.	29
TABLA 3: CARACTERÍSTICAS DE GPS R6. FUENTE: PAGINA WEB DE TRIMBLE.....	39
TABLA 4: CARACTERÍSTICAS DEL ESCÁNER GLS-2200. FUENTE: PAGINA WEB TOPCON.....	44
TABLA 5: CARACTERÍSTICAS DEL DRON PHANTOM 4 RTK. FUENTE: PAGINA DE DJI.....	48
TABLA 6: PRESUPUESTO DEL PERSONAL EN TOPOGRAFÍA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA	59
TABLA 7: PRESUPUESTO DE LA INSTRUMENTACIÓN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	59
TABLA 8: PRESUPUESTO DE LOS SOFTWARES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	59
TABLA 9: COSTE TOTAL EN TOPOGRAFÍA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	59

Índice

Compromiso	1
Resumen.....	2
Summary.....	3
Resum	4
Índice de Figuras	5
Índice de Tablas.....	7
Índice	8
Introducción	10
Objetivos	11
Zona de Trabajo.....	12
Contexto.....	13
Introducción	14
Metodología.....	15
0. Estudio de la zona	16
1. Implantación de una red de bases.....	16
3. GNSS Estático	16
4. Levantamiento Taquimétrico	16
5. Escaneado de la pista.....	16
6. Vuelo Dron	17
7. Replanteos en obra	17
7.1 Replanteo de cotas (Obra negra).....	17
7.2 Replanteo de pintura (Obra Blanca)	17
Datos	18
Desarrollo de los trabajos	19
0. Toma de contacto	19
1. Implantación de la red de bases	20
a. Instrumental utilizado	22
b. Metodología utilizada.....	23
2. Nivelación de las bases.....	24
a. Instrumental utilizado	24
b. Metodología Utilizada	25
3. GNSS Estático	29
a. Instrumental Utilizado	29

b. Metodología Utilizada	29
4. Levantamiento Taquimétrico	39
a. Instrumental Utilizado	39
b. Metodología Utilizada	41
5. Escaneado de la pista.....	43
a. Instrumental Utilizado	43
b. Metodología Utilizada	44
6. Vuelo Dron.....	48
a. Instrumental Utilizado	48
b. Metodología utilizada	49
7. Replanteos en obra.....	51
7.1 Replanteo de cotas (Obra negra).....	51
7.2 Replanteo de pinturas (Obra blanca).....	55
Resultados.....	56
Presupuesto	59
Conclusiones.....	60
Bibliografía.....	62
Cartografía.....	63

Introducción

Como se ha explicado anteriormente, las renovaciones de los circuitos son importantes debido al desgaste que sufren y es fundamental que la pista sea segura para los pilotos, sus equipos y los espectadores. Como consecuencia del citado desgaste, se ha decidido renovar de nuevo la pista entre los meses de junio y agosto del presente año 2023.

En esta memoria se detallan los trabajos topográficos necesarios y el proceso realizado para dicha renovación, desde el inicio hasta el final. Durante el trabajo, se debió tener en cuenta el cumplimiento de una precisión mejor del centímetro, dictada por los informes de trabajo.

Para llevar a cabo el proyecto, se han utilizado varios programas. Cada uno de estos, han sido necesarios para poder conseguir los resultados en cada una de las distintas etapas. Se ha hecho uso del software de AI-Top llamado Trimble Access, para la recogida en campo de los datos taquimétricos, de la nivelación y de las verificaciones en campo. Además del software Trimble Business Center para tratar los datos del estático. Y del programa Civil 3D para la realización de los planos.

También hay que destacar que como en gran parte ha sido trabajo de campo, los instrumentos utilizados en este proyecto han sido varios. Una libreta de campo TSC5 para la gestión de los equipos y la toma de datos, una estación robótica Trimble S5 utilizada en la nivelación, varios GPS Trimble R2 para realizar el levantamiento estático y el taquimétrico. Además de dos de prismas multicaras con sus jalones y un dron phantom 4 RTK para el replanteo de las pinturas del circuito.

Objetivos

El objetivo de este proyecto es eliminar los baches, hundimientos, grietas y retenciones de aguas en la pista. Para ello es necesario realizar un estudio de los trabajos topográficos necesarios para la renovación de la pavimentación principal del autódromo Ricardo Tormo de Cheste.

Se ha realizado en primer lugar la instalación, observación y cálculo de una red geodésica que ha sido empleada para ejecutar todas las fases necesarias para alcanzar el objetivo de la obra:

- Cálculo de la altimetría mediante una nivelación geométrica.
- Cálculo de las coordenadas planimétricas, X e Y, utilizando la técnica de estático relativo GNSS.
- Obtención de los datos del circuito mediante láser escáner terrestre para replantear su modelo.
- Realización de un vuelo con dron para replantear las pinturas de la pista.
- Replanteo en campo para guiar las maquinas empleadas en obra.

Estos procedimientos se explicarán con más detalle a lo largo de la memoria en sus respectivos apartados.

Zona de Trabajo

Describiendo con detalle la zona de trabajo del proyecto, se trata del Circuito Ricardo Tormo ubicado en Cheste (Valencia), dentro de la Comunidad Autónoma de la Comunidad Valenciana, España, como se observa en la Figura 1. Este proyecto se ha realizado durante la estancia de prácticas, que se han realizado en la empresa especializada en construcción y conservación de obra civil e industria llamada Pavasal.

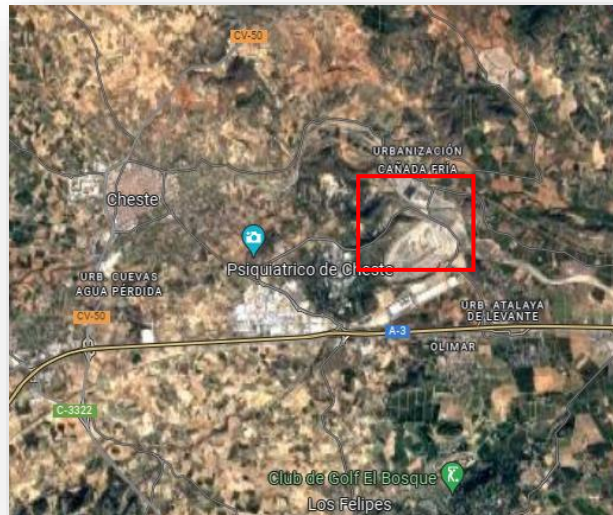


Figura 1: Zona de trabajo visualizado desde Google maps. Fuente: Elaboración propia

En la figura 2, se observa con más detalles el circuito. Su trazado está formado por 14 curvas, el recinto de la pista y sus áreas de seguridad cubren un total de 433.413 m², aunque lo que realmente es de interés para este proyecto es la trazada que tiene una longitud de 4.05 km.



Figura 2: Circuito Ricardo Tormo en visualizado desde Google maps. Fuente: Elaboración propia

Contexto

Este apartado se realiza con motivo de introducir contextualmente e informar acerca del uso que se le da actualmente al circuito.

“El Circuito Ricardo Tormo se inauguró el 19 de septiembre de 1999, ha recibido varios premios como mejor organización en las competiciones del motor. Un detalle importante es que se ha construido de modo en que se pueda contemplar totalmente toda la traza, desde cualquier punto de los 125.000 asientos que contiene de gradas o bien desde dentro de las instalaciones, Siendo uno de los únicos circuitos en el cual se puede ver todo el trazado.

En su interior, acoge mayoritariamente al mundial de MotoGP pero también algunas otras pruebas importantes como el Mundial de Turismo FIA WTCC y el Campeonato Alemán de Turismos DTM, entre otros eventos.” (GENERALITAT VALENCIA, CIRCUIT RICARDO TORMO. *Historia* <<https://www.circuitricardotormo.com/circuito/historia/>> [Consulta: 1 de agosto 2023])

Como ya se sabe, un circuito sufre de un desgaste intensivo bien durante las pruebas, o bien durante las carreras que acoge. Puede llegar a ser peligroso para los pilotos debido a que el asfalto pierde su agarre y crea deslizamientos irregulares en la pista, provocando de esta forma una falta de estabilidad que conlleva accidentes. Para hacer frente a eso, el circuito ya tuvo una primera renovación en 2012 y la siguiente es el tema principal de este proyecto.

Introducción

Como se ha explicado anteriormente, las renovaciones de los circuitos son importantes debido al desgaste que sufren y es fundamental que la pista sea segura para los pilotos, sus equipos y los espectadores. Como consecuencia del citado desgaste, se ha decidido renovar de nuevo la pista entre los meses de junio y agosto del presente año 2023.

En esta memoria se detallan los trabajos topográficos necesarios y el proceso realizado para dicha renovación, desde el inicio hasta el final. Durante el trabajo, se debió tener en cuenta el cumplimiento de una precisión mejor del centímetro, dictada por los informes de trabajo.

Para llevar a cabo el proyecto, se han utilizado varios programas. Cada uno de estos, han sido necesarios para poder conseguir los resultados en cada una de las distintas etapas. Se ha hecho uso del software de AI-Top llamado Trimble Access, para la recogida en campo de los datos taquimétricos, de la nivelación y de las verificaciones en campo. Además del software Trimble Business Center para tratar los datos del estático. Y del programa Civil 3D para la realización de los planos.

También hay que destacar que como en gran parte ha sido trabajo de campo, los instrumentos utilizados en este proyecto han sido varios. Una libreta de campo TSC5 para la gestión de los equipos y la toma de datos, una estación robótica Trimble S5 utilizada en la nivelación, varios GPS Trimble R2 para realizar el levantamiento estático y el taquimétrico. Además de dos de prismas multicaras con sus jalones y un dron phantom 4 RTK para el replanteo de las pinturas del circuito.

Metodología

En la figura 3, se representa la metodología topográfica empleada durante la realización del proyecto:

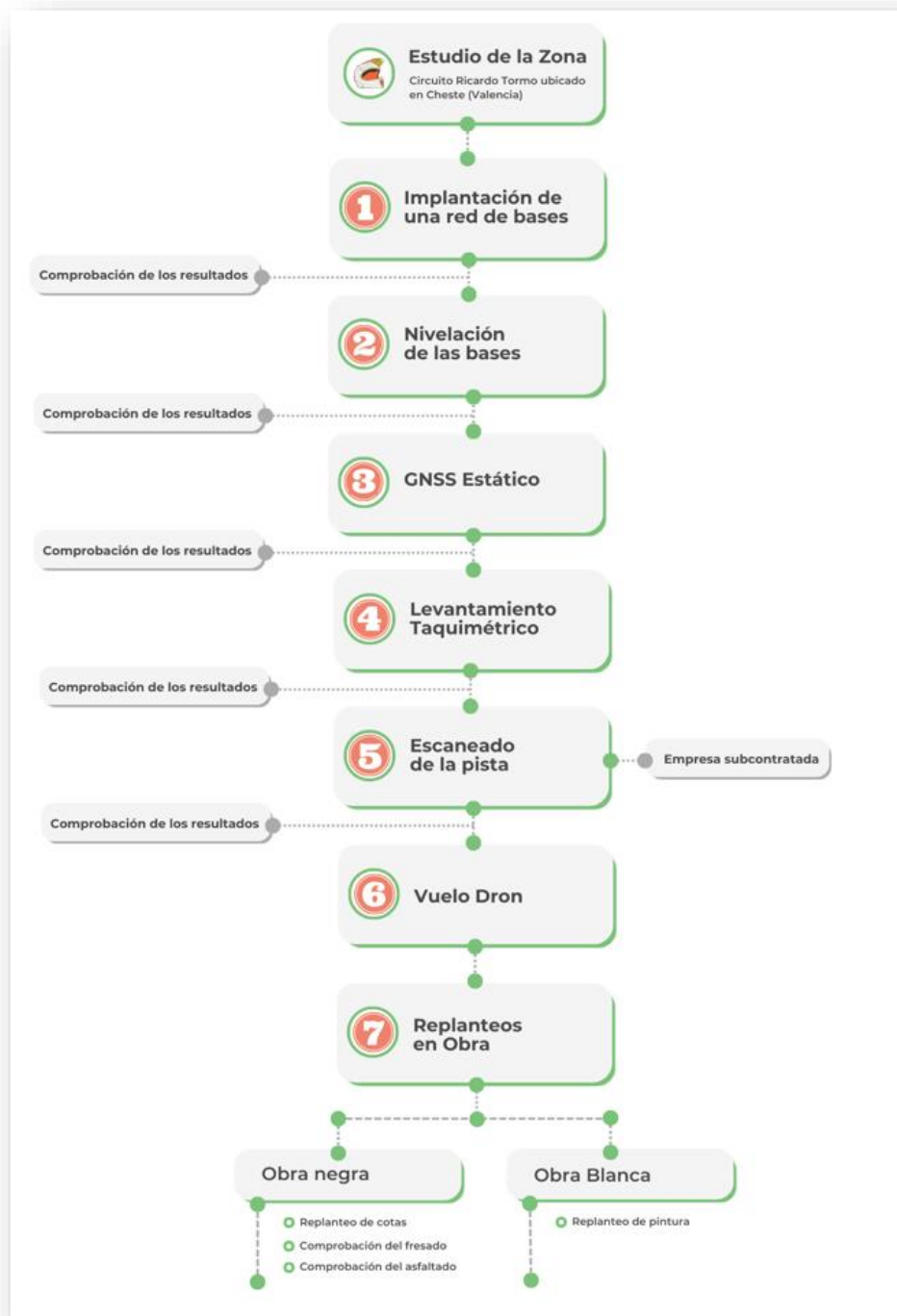


Figura 3: Esquema de la metodología. Fuente: Elaboración propia

A continuación, se indica brevemente en qué van a consistir los trabajos, por orden cronológico:

0. Estudio de la zona

Se realizó un estudio previo visual del circuito directamente desde el interior de la zona del proyecto con el fin de obtener una idea global y planificar los trabajos a realizar.

1. Implantación de una red de bases

Con el objetivo de disponer de una red de bases para el control y el seguimiento de la obra, se procedió a la implantación de una red geodésica, suficientemente densa para poder tener enlazado todo el circuito y realizar levantamientos taquimétricos, nivelaciones, un levantamiento GNSS estático, un escaneado y un vuelo con dron.

2. Nivelación de las bases

Con la finalidad de calcular las alturas ortométricas de las bases de la red se efectuó una nivelación geométrica de las bases instaladas anteriormente utilizando el nuevo software de Trimble, que permitió cerrar anillos y realizar las compensaciones automáticamente.

3. GNSS Estático

Para el cálculo de las coordenadas planimétricas X e Y de las bases planteadas anteriormente con máxima precisión, se utilizó la técnica de estático relativo GNSS. De esta forma cuando se comprobaron las bases, estaban perfectamente instaladas con un error milimétrico.

4. Levantamiento Taquimétrico

Con el objetivo de proporcionar datos para guiar la maquinaria de la obra, se realizó un levantamiento topográfico de todo el circuito. Este paso sirvió también para actualizar y rehacer la trazada que toman los pilotos durante las carreras.

5. Escaneado de la pista

Debido a que no se tenían equipos para la realización del escaneo, se subcontrató a una empresa para ello. Esta, realizó un escaneado de la pista con alta precisión. El objetivo de la nube de puntos resultante fue la realización de perfiles para detectar baches, agujeros, etc.

Cabe destacar que otra utilidad que tuvo este trabajo fue la fluidez que aportó a la hora de aplicarla para la comprobación del estado del fresado de la pista.

6. Vuelo Dron

El vuelo se efectuó antes de la entrada de la maquinaria de la obra a la zona de trabajo. El objetivo del vuelo fue realizar una ortofoto con buena resolución para poder, después del asfaltado, replantear las pinturas de la pista.

7. Replanteos en obra

Una vez se tenían la mayoría de los datos, se tenían que replantear y marcar para que la maquinaria que se encarga del fresado y del asfaltado pudieran avanzar. Al acabar los pasos anteriores se debían replantear puntos para guiar las personas encargadas de la pintura.

7.1 Replanteo de cotas (Obra negra)

En esta primera parte, se replanteó con distancias constantes el modelo del circuito, con el fin de que la fresadora pudiera quitar la pista. Además, se realizaron las comprobaciones del trabajo realizado por la máquina. Luego, se procedió de la misma manera con el asfalto, aunque, sobre la zona fresada se remarcaron las cotas, para saber cuánto material sería necesario reponer.

7.2 Replanteo de pintura (Obra Blanca)

En esta segunda parte, se replantearon los puntos y las líneas necesarias para que, una vez finalizada toda la obra, el equipo de pintura pueda realizar el marcaje tal como se ha pedido con la máxima precisión posible.

Datos

No existen documentos oficiales anteriores pertenecientes a la renovación hecha en 2012. Los únicos datos de partida obtenidos son algunos planos mostrando las infraestructuras que componen el circuito como se puede observar en la figura 4, algunas medidas (PK, longitudes) y también se señala la traza que han utilizado los pilotos hasta ahora.

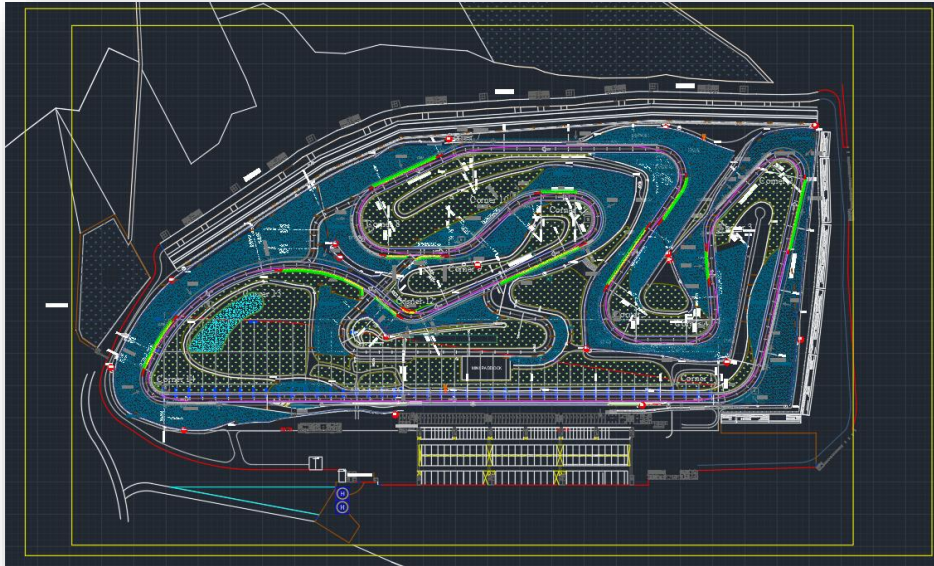


Figura 4: Mapa del circuito. Fuente: (Pavasal, 2012)

Debido a la escasez de datos, los datos empleados en este proyecto son en su mayoría todos nuevos, tomados desde la propia zona de estudio desde su inicio (previos a la obra). Y, otros datos que han sido necesarios al realizar la red geodésica son las bases de referencia, se han descargado de la página del ICV. Donde al observar las bases más cercanas a nuestra zona de estudio, se han utilizado los datos de Valencia en las horas UTC correspondientes a las horas de España (UTC+1).

RED ERVA Estación Permanente GNSS València - Pinedo

Sistema Geodésico de Referencia ETRS89

Coordenadas Geográficas
 Latitud: 39° 26' 8,54508"
 Longitud: -0° 20' 38,05808"
 Altitud elipsoidal: 62,528 m

Coordenadas UTM (huso 30)
 X: 728594,857 m Y: 4368496,301 m

Metadatos del receptor y la antena

Código de la estación: VCA
 Nombre de la estación: València - Pinedo
 ID de la estación: 13487M001

Datos de la antena:
 Número de serie: 19158011
 Tipo de antena: LEIAR10 NONE
 Altura de la antena: 0,08 m

Datos del receptor:
 Número de serie: 1705429
 Tipo de receptor: LEICA GR30
 Satélites: GPS+GLO+GAL+BDS
 Versión del firmware: 4.207.300
 Versión Rinex: 2.11; 3
 Traductor Rinex: Spider V7.5.2.8679

Localización de la estación Escala 1:50.000

Receptor

Antena

Croquis antena

URL Metadatos de la estación
<https://gnss-metadatos.eu/satlog/exportlog?station=VCA00ESP>

Tablas de calibración de antenas
<http://www.epncb.com/be/fp/station/general/antenna.gra>

Descarga de datos Rinex
<http://icv.gva.es/tes/web/icv-erva/erva/descarga-archivos-rinex>

Figura 5: Hoja técnica de la base de Valencia: Fuente: (ICV, 2023)

Desarrollo de los trabajos

0. Toma de contacto

Como se ha explicado anteriormente, el objetivo final del proyecto es el reasfaltado de la pista del circuito Ricardo Tormo debido a su desgaste, a las grietas existentes y sus irregularidades en el trazado. Para poder actuar con claridad, fue necesario conocer el tipo de material que se había usado en las anteriores renovaciones, ver si existen capas, cuantas y a cuanta profundidad se asfaltó en la anterior renovación (2012).

Una de las premisas del proyecto fue que la nueva renovación debía llegar a la misma cota que la actual, es decir, que la geometría de la pista y el trazado no debían cambiar. Además, el cliente informó de las grietas existentes más preocupantes y puntos en los cuales se retenía el agua y producían charcos peligrosos cuando llovía. Estos puntos se han tenido que analizar y modificar para dejar el trabajo completado con éxito. Por otra parte, las grietas se debían analizar cuidadosamente y ver hasta qué profundidad suelen llegar. Para realizar el estudio, un equipo se encargó de tomar muestras en las distintas zonas del circuito.

En la figura 6 se muestran dos zonas en el cual había las grietas más grandes. La toma de muestras sobre las grietas más importantes, permitió estimar cuánto habría que excavar para poder anularlas durante el asfaltado.

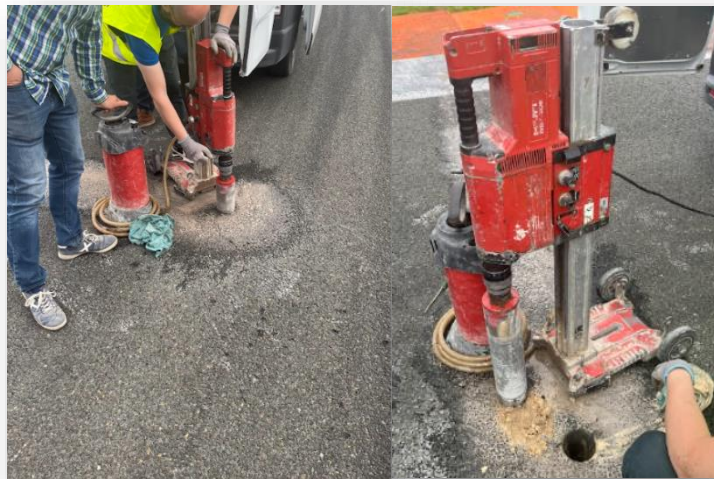


Figura 6: Maquinaria para sacar muestra. Fuente: Elaboración propia



Figura 7: Muestras tomadas. Fuente: Elaboración propia

En la figura 7, se observa que el asfalto está dividido y que el espesor hasta el terreno es de 7- 8 cm. La grieta en la imagen tiene un tamaño de 8 cm, cruza totalmente el asfalto que se había instalado durante la renovación anterior. Como ya se ha comentado, esta toma de muestras permite guiar el equipo de asfaltado y el equipo topográfico para actuar de una forma u otra.

1. Implantación de la red de bases

“Los sistemas globales de navegación por satélite (GNSS) han revolucionado el posicionamiento, la navegación. El término GNSS es el nombre genérico que engloba a los Sistemas de Navegación por Satélite que proporcionan un posicionamiento geoespacial y facilitan la navegación.

Son sistemas pasivos en los que los satélites son emisores de radiofrecuencias. Proporcionan un marco de referencia espacio en que los satélites son emisores de radiofrecuencias, y a través de sus procesamientos permiten el posicionamiento en un marco de referencia espaciotemporal con cobertura global, las 24 hora del día y del año, independiente de la situación en la Tierra y de las condiciones atmosféricas.

Los sistemas de posicionamiento y navegación GNSS (Global Navigation Satellite Systems), se fundamentan en la medida de la señal generada por un oscilador o reloj, de frecuencia siempre constante. Los osciladores generan las ondas portadoras y sobre ellas transmite toda información.” (BERNÉ VALERO, J.L, GARRIDO VILLEN, N, CAPILLA ROMÁ, R. (2019). “Sistemas GNSS.GPS” en *GNSS: GPS, Galileo, Glonass, Beidou. Fundamentos y métodos de posicionamiento*. Valencia: Universitat Politècnica de València)

Hoy en día, para la realización de cualquier proyecto topográfico, sea o no de grandes dimensiones como carreteras, puentes o túneles, es necesario apoyarse en el sistema de referencia oficial. En España, el sistema geodésico de referencia oficial, según el Real Decreto 1071/2007 de 27 de julio, por el que se regula el sistema geodésico de referencia oficial en España, es el ETRS89¹ (European Terrestrial Reference System 1989).

Para que el Circuito tenga un sistema de referencia oficial, se ha tenido que enlazar con la Red Geodésica Nacional. Para conseguirlo, en la primera parte del proyecto, se ha materializado una red principal en toda el área del circuito, enlazada con la Red Geodésica Nacional a través de estaciones permanentes del Instituto Cartográfico Valenciano. Con esa red se han podido realizar todos los otros trabajos con la seguridad de que las coordenadas estaban en el sistema de referencia oficial.

Teniendo unas ventanas muy pequeñas de tiempo de trabajo, dictadas por los entrenamientos de los pilotos, la forma más rápida para realizar este paso y poder seguir con las partes más densas, era la utilización de GNSS.

Las bases se han colocado teniendo en cuenta los siguientes criterios:

- Fuera de la pista y del recorrido del circuito (en lugares en los cuales no molestase a los pilotos).
- Fácil de acceder para estacionar con una estación total sin dificultades.
- Lugares despejados para evitar el efecto multipath (interferencias en la señal GNSS debido a obstáculos que pueden crear rebotes de la señal)

¹ <https://www.mitma.gob.es/organos-colegiados/consejo-superior-geografico/csg/etrs89/etrs89-nuevo-sistema-de-referencia-geodesico-oficial-en-espana>

En la señalización de estas bases se han tenido en cuenta algunos requisitos de replanteo y levantamiento:

- Las distancias de replanteo de las bases no han superado los 75 metros, debido a que la precisión de la estación robótica Trimble S5, es máxima cuando la distancia de radiación al replantear es inferior a 50 m.
- Las bases deben estar fuera de la pista, pero cerca de ella.
- Las bases deben estar colocadas en cada lado de la pista, para ello se ha ido intercalando los lados (lado derecho con lado izquierdo) para tener una buena consistencia.

Para cumplir todas esas condiciones, las bases deben de tener estabilidad, es decir:

- Que sean inamovibles durante todo el proyecto.
- Que estén bien fijadas al suelo y que no se muevan.
- Que sean de un material rígido.
- Que sean fácilmente localizables.

La colocación de las 47 bases se ha realizado en tres días. En la medida de lo posible, se han implantado las bases en los bordes de la pista en lugares donde no molestara a los pilotos. Tras un análisis, se decidió poner las bases sobre los pianos, en zonas en la cual el color de la pintura no estaba gastado, significando que los pilotos en su gran mayoría no llegaban a tocar esas zonas

En la figura 8, se pueden observar ejemplos de bases implantadas cerca de la pista, estando en sobre los pianos.

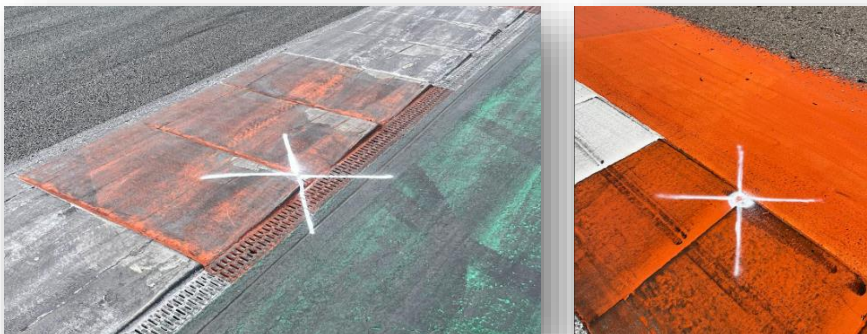


Figura 8: Bases implantadas sobre pianos, cerca de la pista. Fuente: Elaboración propia

Si las bases no se podían poner cerca de la pista, se han aprovechado los espacios hormigonados que se sitúan detrás de los pianos, o bien directamente sobre los aspersores, como se aprecia en la figura 9.

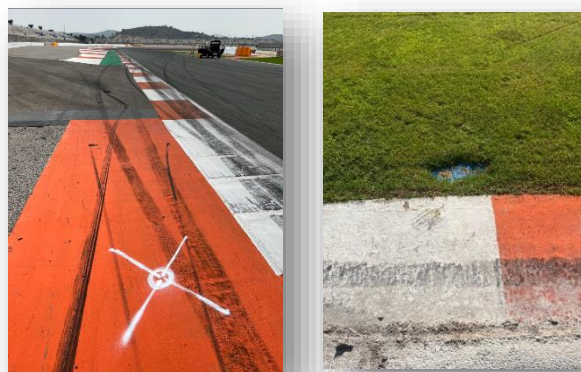


Figura 9: Bases no implantadas sobre pianos, un poco alejado de la pista. Fuente: Elaboración propia

Con estas situaciones, las bases eran fácilmente localizables, solo había que recorrer los lindes de la pista para encontrarlas. Esto se hizo con el objetivo de que tanto las personas de la empresa como personas externas a ella (subcontratadas) pudieran localizarlas con facilidad para continuar, en algunas ocasiones, con ciertos pasos del proyecto (escaneado). Además, para ello se realizó un mapa simple, representado con la figura 10, con las bases. De esta forma era más fácil y fluido para todo el personal de la obra a la hora de trabajar, con la ayuda del mapa y la señalización existente resultaba muy sencilla la localización de las bases.

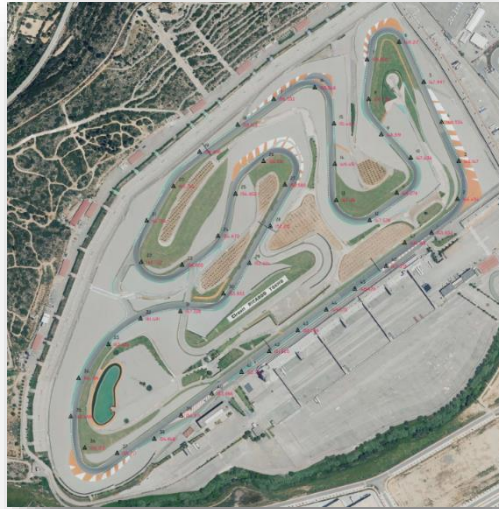


Figura 10: Mapa de bases. Fuente: Elaboración propia

a. Instrumental utilizado

El instrumental utilizado para la implantación de la red de bases ha constado de un equipo GNSS. Los equipos utilizados en este proyecto fueron un receptor Trimble R2 de Trimble y una libreta TSC5 de Trimble.

Las precisiones que proporciona este equipo GPS para mediciones en RTK son:

- Exactitud Horizontal 1cm + 1ppm
- Exactitud Vertical 2cm + 1ppm

Otra característica que nos interesaba era que es un instrumento rápido de configurar y muy fácil de uso. Además, es compatible con múltiples constelaciones lo que nos permitía recibir datos y correcciones de muchos satélites para tener máxima precisión.

Los componentes de un Equipo Trimble R2 son:

- Baterías
- Maletín, conectores, jalón, y antena prácticamente estancos resistentes al agua, polvo y suciedad.
- Receptor-Antena R2
- Modos de mediciones posibles: Estático, Estático-Rápido, RTK
- LibretaTSC5

Las fotos del instrumental GNSS utilizado se muestran en la figura 11



Figura 11: GPS R2 de Trimble. Fuente: Elaboración propia

La controladora utilizada se muestra en la figura 12.



Figura 12: Libreta TSC5. Fuente: Elaboración Propia

b. Metodología utilizada

El método para la implantación de las bases fue RTK. Puesto que teníamos que recorrer el circuito con poco tiempo, hemos tenido que utilizar la furgoneta para recorrer los 4km de pista y colocar las bases rápidamente.

Se partió de la primera base, a partir de la cual se fueron colocando el resto de forma que fuesen intervisibles con la anterior y la siguiente. Al estar el equipo integrado por dos personas la mayoría del tiempo, se simultaneaba la colocación del clavo con la toma de las coordenadas del punto con el GNSS. Dado que la separación entre bases, como se ha comentado, debía ser de 75m, se utilizó una furgoneta para el traslado entre bases a la distancia mencionada. Una vez a la distancia requerida, se analizaba el lugar para encontrar donde la base podía cumplir todos los requisitos anteriores, se procedía a la colocación de la señal y se tomaban sus coordenadas. Y de la misma manera, desde la siguiente base, se replanteaba de forma aproximada a 75m y se colocaba la nueva señal, este proceso se ejecutó de forma sucesiva hasta la colocación del total de las bases.

La implantación de las bases seguía una metodología repetitiva, colocar, tomar, replantar. Se intentó repartir las bases de forma que pudieran ir una vez en el lado derecho y la siguiente en el lado izquierdo de la pista para evitar las líneas rectas. Aunque se tardó unos 3 días para colocar esas 47 bases, esto se debió a que se disponía de unas ventanas de trabajo de tan solo una o dos horas. Podemos estimar el tiempo de esta tarea a una media jornada (4-5h).

2. Nivelación de las bases

Para este proyecto las cotas son lo más importante, estas cotas han servido para trabajar en todas las otras etapas que se han seguido para la realización de la tarea. La implantación de las bases en el paso anterior, ha servido para crear una lista de coordenadas X e Y que puede leer la libreta y, de esta forma, dar información a la estación total para su posicionamiento.

El cálculo de las cotas se ha realizado con un programa, muy prometedor, llamado LevelMe de AITop. Este programa permite la toma de datos en campo, el cálculo y compensación altimétrica mediante nivelación trigonométrica. Es un programa muy fácil de usar y ahorra mucho tiempo de gabinete, ya que nada más acabar las observaciones en campo, se puede disponer de la altimetría calculada.

a. Instrumental utilizado

El instrumental utilizado para la realización de la nivelación ha sido una estación total robótica trimble S5, con su controladora TSC5 para recibir y estudiar los datos, dos prismas multicaras con sus respectivos trípodes para evitar que se muevan durante la toma de datos. Se pueden observar en las figuras 13 y 14.

Las precisiones de la estación robótica S5 son bastante grandes siendo mejores que 2mm para mediciones no superiores a 200m. Nuestras bases estaban separadas por 75m, esta estación es más que suficiente para alcanzar la precisión requerida en el trabajo

MEDICIÓN ROBÓTICA

Alcance robótico y Autolock ⁴	
Prismas pasivos	700 m
Objetivo Trimble MultiTrack™	800 m
Objetivo Trimble Active Track 360	500 m
Precisión de puntería Autolock a 200 m (Desviación típica) ³	
Prismas pasivos	<2 mm
Objetivo Trimble MultiTrack	<2 mm
Objetivo Trimble Active Track 360	<2 mm
Distancia de búsqueda más corta	0,2 m
Tipo de radio interna/externa	Radios de 2,4 GHz de amplio espectro por saltos de frecuencia
Tiempo de búsqueda (típico) ⁸	2-10 s

Tabla 1: Características de la estación robótica S5. Fuente: Pagina web de Trimble

En las figuras 13 y 14 se puede ver una imagen de los instrumentos utilizados.



Figura 13: Estación Robótica S5.
Fuente: Elaboración propia



Figura 14: Prisma multicaras.
Fuente: Elaboración propia

b. Metodología Utilizada

Siendo LevelMe un programa bastante nuevo para todos, se han seguido en la mayoría de los casos las recomendaciones existentes en el manual de dicho programa que son:

- Visuales equidistantes para que el programa compense las niveladas de los efectos de refracción y esfericidad.
- Distancias entre 50 y 100m con ángulos de inclinación no superiores a 15°
- Utilización de prismas con sus tripodillos (trípodes que aguantan al prisma evitando los posibles movimientos).
- Realizar 5 o más lecturas sobre un mismo punto tanto en círculo directo e inverso para obtener las máximas precisiones.

Empezamos la nivelación entre las bases 1 y 2. Para estacionar, nos situábamos siempre aproximadamente en el centro de la alineación que une las bases a nivelar, teniendo en cuenta que las bases están separadas una distancia de unos 75m, la distancia entre bases será inferior a 40m. De esta forma, las visuales tenían las precisiones máximas de la estación robótica ya que su error es mínimo a distancias inferiores a 75m. Mientras una persona se ocupaba de iniciar la estación y nivelarla, otra persona tenía que colocar los prismas en las bases y revisar que estaban bien implantados, es decir, fijándose que la altura del prisma era la correspondiente (1.5m), que el prisma estaba orientado correctamente a la estación y que no se podía mover durante la toma de datos.

Una vez estacionados iniciábamos el programa LevelMe en la libreta TSC5, se realizaba el proceso de medición especificado en el manual.

En el programa, la creación de un Anillo se considera una línea de nivelación de ida y vuelta, cuando lo cerramos en un mismo punto. No es obligatorio acabar en un mismo punto, también se podía cerrar un anillo en otro punto de cota conocida pero entonces solo sería una nivelación de ida.

Una vez creado el Anillo, empezábamos a nivelar tomando visuales de frente y de espalada. Se configuro la estación para que cumpla con las recomendaciones anteriores, es decir, que se visualicen mínimo 5 veces en circulo directo y 5 veces en circulo inverso de esta forma podíamos obtener las máximas precisiones.

En la figura 15 podemos ver la configuración realizada para la toma de datos. Se indica en la estación que el Orden de Caras (1) sea la opción “C1...C2...”. Es decir, que realice todas las medidas del círculo directo y después todas las medidas des del círculo inverso. Para obtener más redundancia de datos, en vez de seguir a la letra las recomendaciones, se decidió aumentar a 7 las observaciones por punto (2). Tanto para mediciones como para resultados se eligió que se vieran hasta el cuarto decimal (4) También una opción importante fue la de aceptar la Doble Nivelación (3), esto nos permitía llevar la nivelación de ida y de vuelta a la vez.

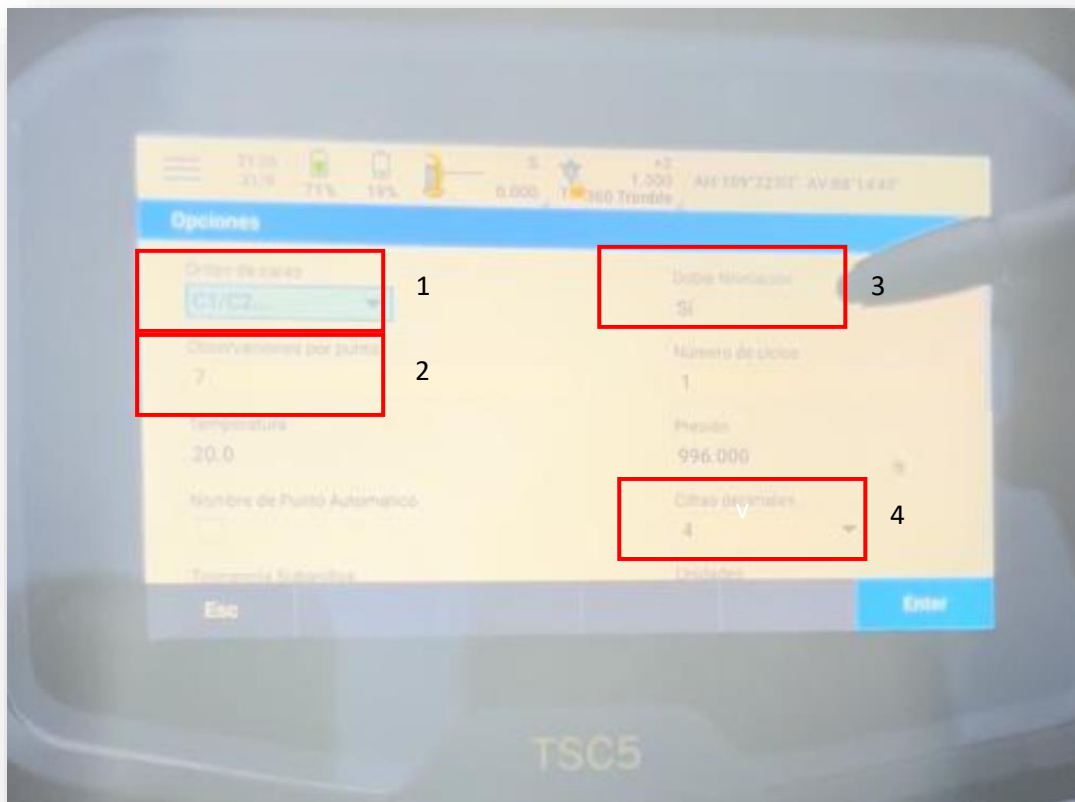


Figura 15: Configuraciones de nivelación. Fuente: Elaboración propia

Otras opciones que se podían ver en la figura 15, son la Temperatura, la presión... Estos valores se ajustaban directamente a la hora de estacionar la estación.

La nivelación del circuito no se podía realizar en un día, debido a los entrenamientos de los pilotos. Entonces, se tomó la decisión de tomar varios anillos comprendidos entre

200-600 metros, de esta forma, se podía probar el programa y comprobar los valores que calculaba el programa y si eran correctos se seguiría adelante.

En las figuras 18 y 19, se muestran algunos valores tomados y compensados por el programa directamente desde la toma de datos en campo. Es muy útil para saber si la metodología seguida es la requerida para dar seguridad en los datos, o bien si se tenía que cambiar.

En la figura 16, se observan algunas visuales tomadas, se puede ver el nombre del punto si se ha tomado como frente o espalda, la altura de observación (1.5m) del prisma, el ángulo vertical, la distancia de inclinación y la elevación.

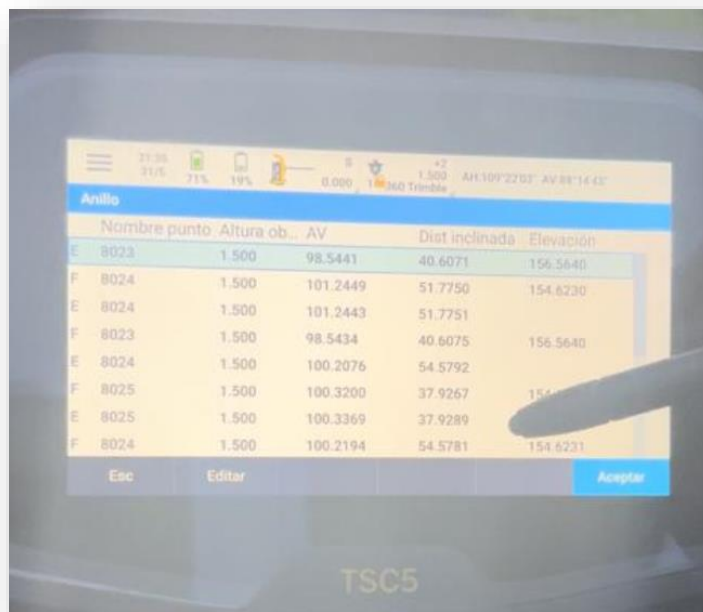


Figura 16: Visuales de nivelación. Fuente: Elaboración propia

En la figura 17, se puede ver el nombre de nuestro Anillo, en este caso es el número 5. La distancia de nivelación 677.631metros, el número de visuales que contiene este anillo, el error previsible, la cota inicial en metro, la pendiente del terreno, la tolerancia en m y el error de cierre en metros.

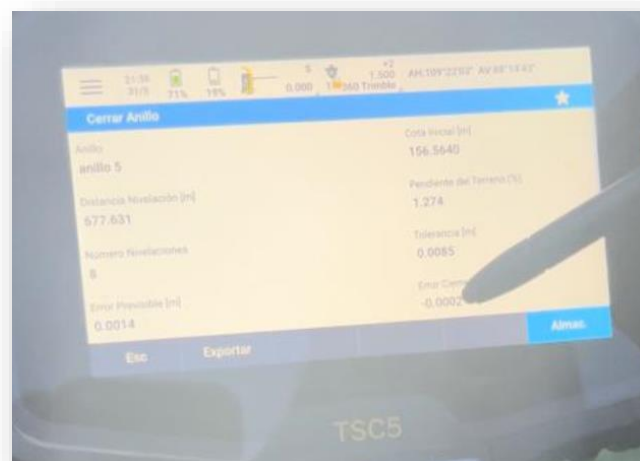


Figura 17: Opciones del anillo de nivelación. Fuente: Elaboración propia

Cuando se ha creado un anillo general, cada visual que estaba en su interior creaba subanillos. En la figura 18 se observa el subanillo con las visuales 8024 y 8023, existe un ajuste de la visual 8023 de 0.0002 metros, y el error de cierre calculado es nulo.

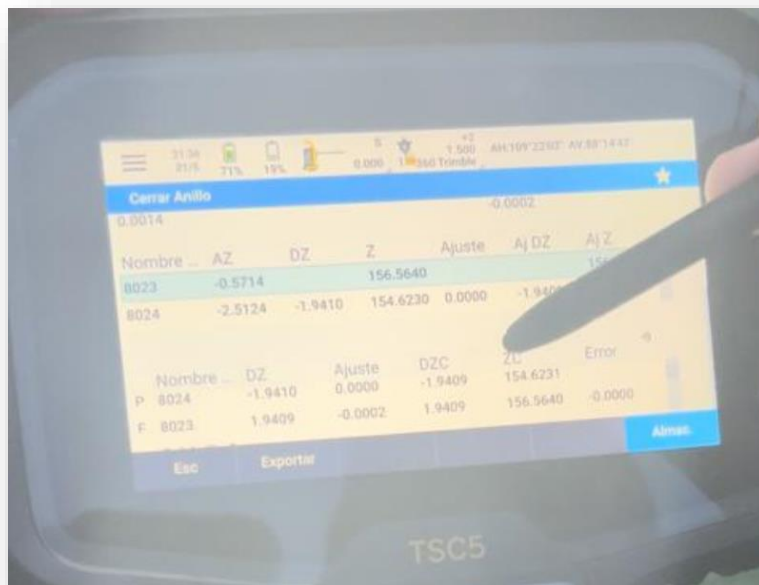


Figura 18: Ajuste de un subanillo de nivelación, visuales 8023-8024. Fuente: Elaboración propia.

Mientras que en la figura 19, el subanillo estaba formado por la visual 8026 y 8025, teniendo un ajuste de 0.0001 y 0.0002 y el error de cierre resultante es de 0.0001m.

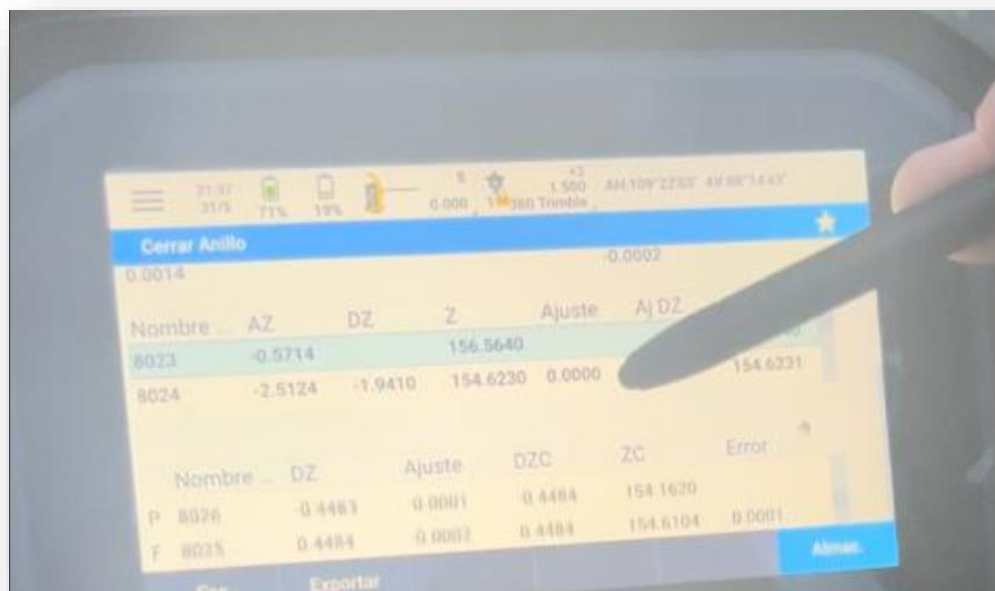


Figura 19: Ajuste de un subanillo de nivelación, visuales 8025-8026. Fuente: Elaboración propia.

3. GNSS Estático

Realizado el paso anterior de la nivelación, lo que se quiere hacer en este paso es comprobar y confirmar las coordenadas de los puntos. Para ello, la mejor forma de disponer de unas coordenadas más precisas es efectuar un levantamiento GNSS estático.


Este proceso es un proceso de medición que se utiliza cuando se quiere obtener unas coordenadas precisas y seguras. Consiste en ubicar dos o más GNSS que estarán recibiendo datos durante un periodo de tiempo decidido por el operador en función de la distancia entre las bases.

Se ha llevado a cabo este método con todas las bases que se han puesto anteriormente sobre el circuito, ya que, todas son útiles para permitir estacionarnos en cualquier sitio del circuito. Tener coordenadas con este método nos asegura que los estacionamientos de la estación total o bien de los escaneados sean precisos.

a. Instrumental Utilizado

El instrumental utilizado para la realización del levantamiento estático ha sido 6 receptores R2 de Trimble (figura 11) y 4 libretas de campo TSC5 (figura 12) para recibir los datos.

Las precisiones que proporciona este equipo GPS para mediciones en Estático son:



Posicionamiento estático GNSS	
Estático y Estático Rápido	
Horizontal	3 mm + 0,5 ppm RMS
Vertical	5 mm + 0,5 ppm RMS

Tabla 2: Características de los receptores GPS R2. Fuente: Pagina web de Trimble.

Se necesitó el apoyo de 4 personas para poder desplazar los receptores en cada base, con el correspondiente medio de transporte.

b. Metodología Utilizada

En campo

Antes de empezar este paso, se realizó un estudio de la zona de trabajo con el objetivo de encontrar lugares despejados con cielo abierto (sin vegetación, sin edificios) para evitar el efecto multipath que nos puede provocar mediciones falsas a la hora de la toma de datos.

Una vez detectados lugares favorables para la toma de datos, se analizó los lugares del circuito en los cuales se iban a medir los datos. Lo que interesaba era dejar fijas las bases con precisión, entonces se utilizó esas 47 bases para los estacionamientos.

La configuración de los receptores para el levantamiento ha sido la misma para los 6 equipos. En las siguientes imágenes se muestra cómo se realizó la configuración para el levantamiento con el programa Trimble Access.

El primer paso es crear un proyecto nuevo, en el cual elegimos el nombre, y una descripción si es necesaria:

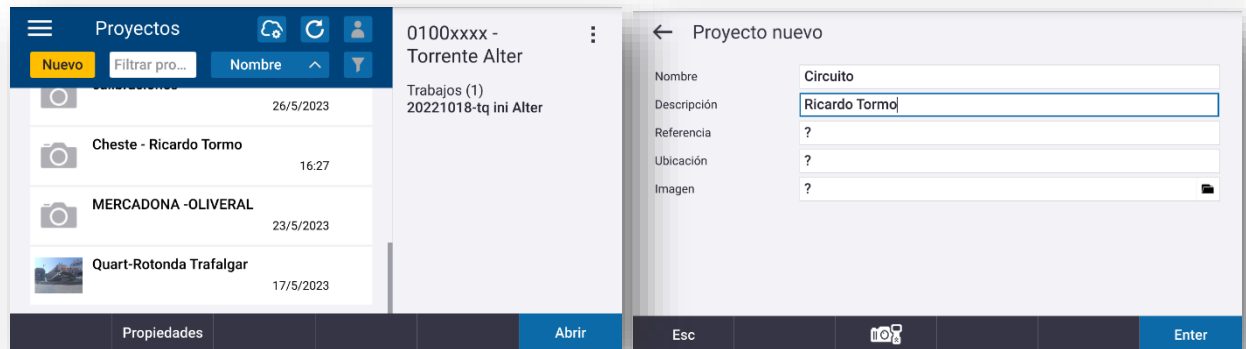


Figura 20: Creación del trabajo para el levantamiento estático. Fuente: Elaboración propia

Después, se debe de configurar el sistema de coordenadas acorde al proyecto:

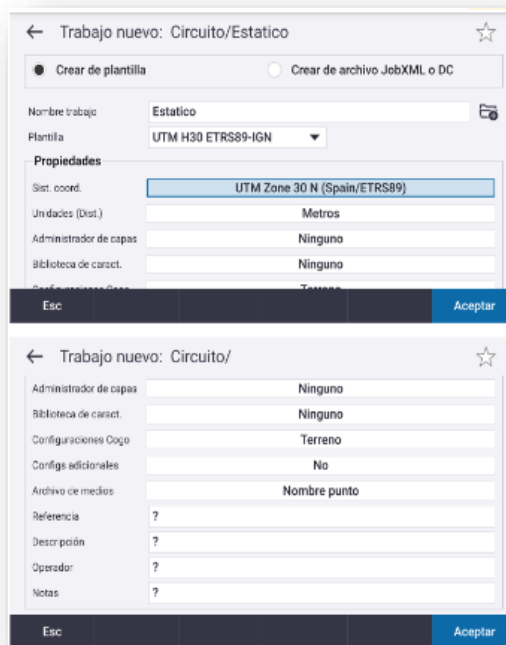


Figura 21: Sistema de coordenadas levantamiento estático. Fuente: Elaboración propia

Una vez el proyecto creado, se pasa a la configuración del levantamiento, en el menú de la aplicación se va a configuraciones y Estilos de Levantam., y en los estilos creados se elige “Estático”.

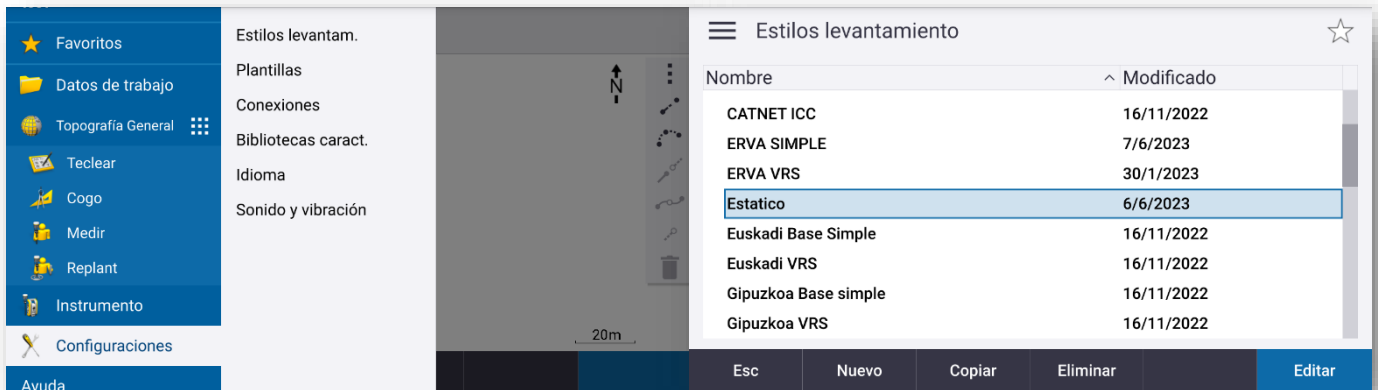


Figura 22: Configuración del levantamiento estático. Fuente: Elaboración propia

Entre las opciones del Estático se eligió “Opciones Móviles” y se configuro de la siguiente forma:

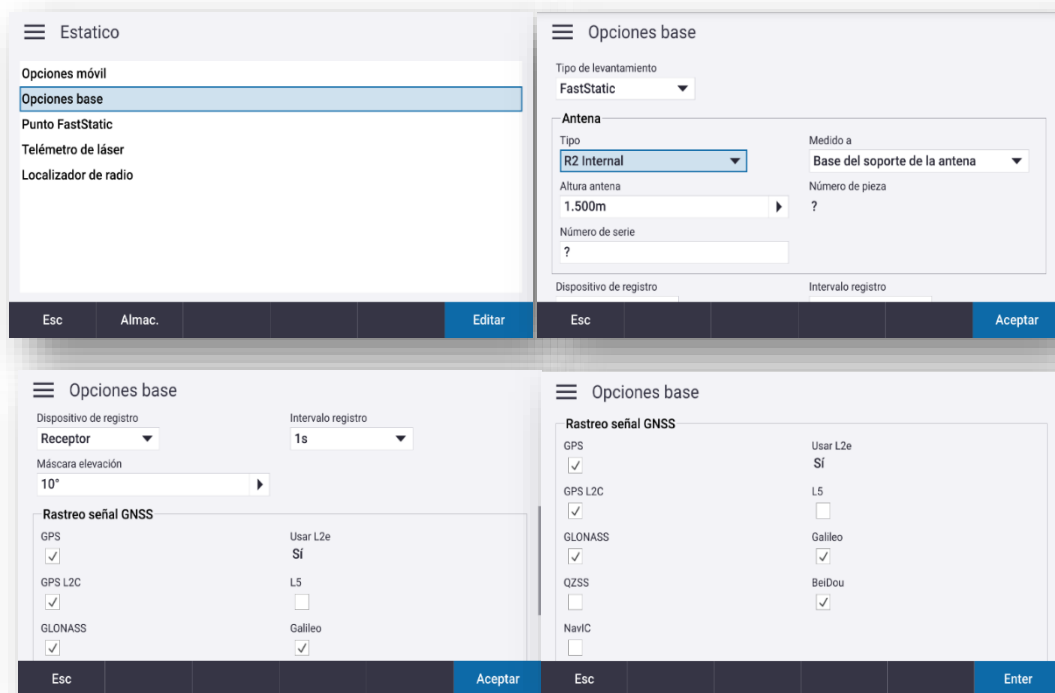


Figura 23: Opciones del "Estático". Fuente: Elaboración propia

En las opciones, la Antena se eligió R2 internal ya que los GNSS eran R2. También se decidió ponerlos como receptores para que de esta forma los datos se graben directamente en el receptor GNSS. Con esa configuración se evita que haya interrupciones por pérdida de conexión entre la libreta y el receptor. Lo mejor es utilizar la libreta únicamente para iniciar y finalizar el levantamiento.

La máscara de elevación se configuró a 10^{a} y el intervalo de registro de datos cada 1s. Como se querían coordenadas precisas, era interesante la redundancia de datos. Se decidió también eliminar las señales provenientes del QZSS (situado en Japón) o NavIC (situado India).

Por último, en las opciones del levantamiento, podemos configurar el Punto FastStatic que permite medir puntos GNSS brutos sin rastrear satélites entre puntos. En sus opciones se puede modificar el tiempo de grabación de datos. Los tiempos mostrados en la segunda imagen son orientativos, son los tiempos mínimos que se deben aplicar para que los receptores de doble frecuencia den resultados con buena precisión. Los tiempos se deben incrementar en función de la distancia existente entre las bases y la línea base.

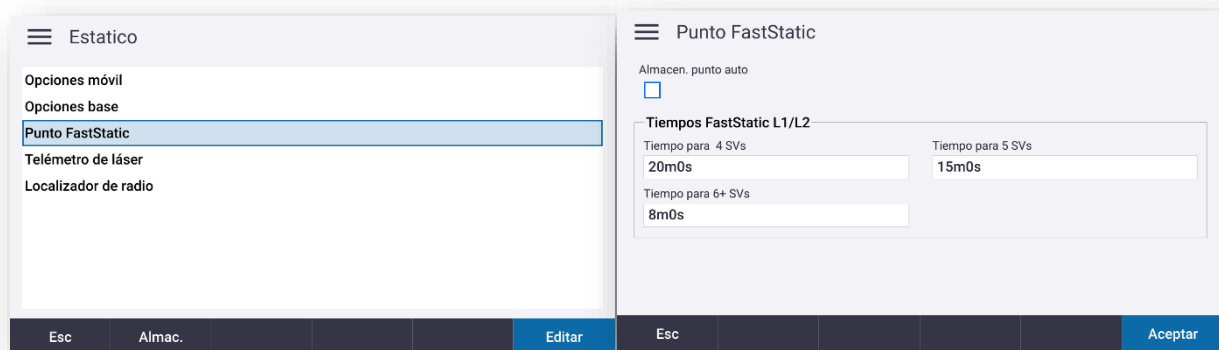


Figura 24: Configuración punto "FastStatic". Fuente: Elaboración propia

Con la configuración realizada para los instrumentos, se realizó la toma de datos en campo. Con 6 GPS R2 a nuestra disposición, dos de ellos sirvieron para formar la línea base. Antes de colocarlos, se había analizado las distancias que podían existir con las mediciones de los receptores que se iban a mover con la línea base. Para la toma de datos, se ha buscado que las distancias con la línea base sean las mínimas posibles, resultando la imagen siguiente:

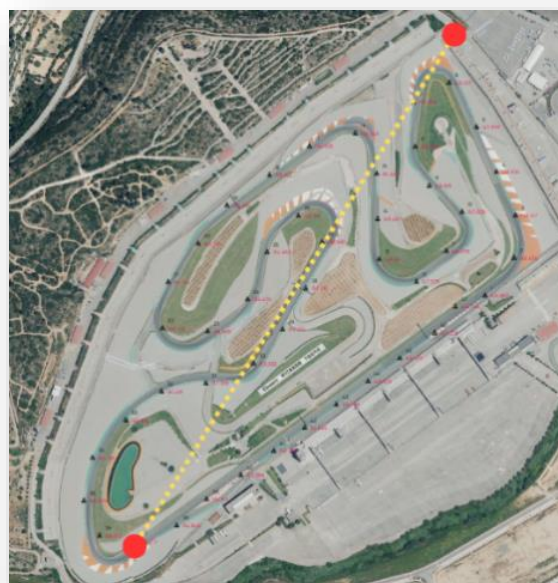


Figura 25: Implantación de la línea base. Fuente: Elaboración propia

El receptor fijo en rojo de la parte superior de la figura 25, se situaba en las gradas, mientras que el otro receptor fijo estaba estacionado en la base 37. Estos receptores han sido iniciados para que tomen datos desde el principio de la jornada hasta el final del trabajo.

La toma de datos de las bases se realizó de cuatro en cuatro, es decir, la primera toma de datos se hizo con las bases 1-2-3-4. Los receptores se iniciaban simultáneamente, y cada toma de datos tenían una duración de 15 minutos. Se decidió este tiempo debido a que la zona estaba totalmente despejada, y que la distancia con la línea base y las bases del circuito era bastante corta.



Figura 26: Recorrido realizado durante el levantamiento estático.
Fuente: Elaboración propia

En oficina

Las coordenadas han sido calculadas por una empresa especializada en levantamientos estáticos. De todos modos, se realizaron los cálculos para poder realizar una comparación de las técnicas contratadas y las que ya se poseían

Para el cálculo de las coordenadas se utilizó el software Trimble Business Center. Como la zona del proyecto era Cheste, la base ERVA más cercana es la de Valencia (VCIA). Fue necesario descargar los datos de dicha base para calcular las coordenadas. La descarga se realizó directamente desde la página del ICV, eligiendo el tiempo de la toma de datos, con su fecha.

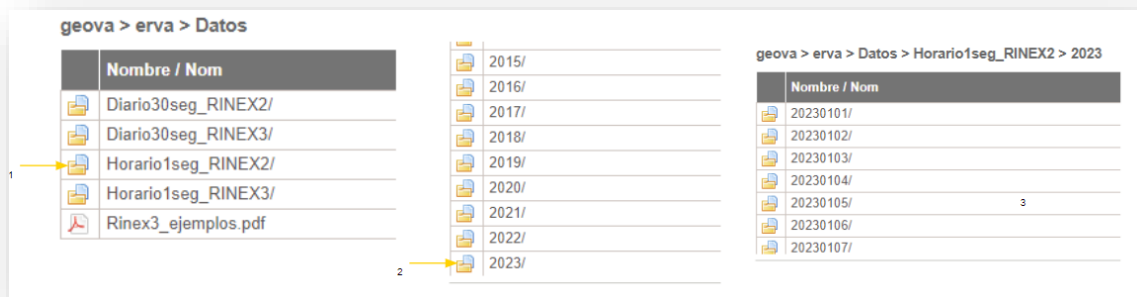


Figura 27: Descarga de los datos de base del ICV. Fuente: Elaboración propia

Se buscaron y descendieron las horas para que coincidieran con la toma de datos en campo. Las horas están listadas según el horario UTC (España UTC+1 en invierno y UTC+2 en verano) y por letras para cada hora (ejemplo: a – 00h00, b – 01h00 etc.). En el caso de la toma de datos, la toma de datos empezó a las 8h de la mañana local, siendo las 6h UTC (letra F)

VCIA159j.23d.gz	08/06/2023 19:13	Archivo GZ	389 KB
VCIA159l.23d.gz	08/06/2023 19:14	Archivo GZ	386 KB
VCIA159h.23d.gz	08/06/2023 19:13	Archivo GZ	385 KB
VCIA159p.23d.gz	08/06/2023 19:14	Archivo GZ	382 KB
VCIA159g.23d.gz	08/06/2023 19:13	Archivo GZ	369 KB
VCIA159k.23d.gz	08/06/2023 19:14	Archivo GZ	368 KB
VCIA159o.23d.gz	08/06/2023 19:14	Archivo GZ	359 KB
VCIA159f.23d.gz	08/06/2023 19:13	Archivo GZ	353 KB
VCIA159m.23d.gz	08/06/2023 19:14	Archivo GZ	350 KB
VCIA159i.23d.gz	08/06/2023 19:13	Archivo GZ	349 KB
VCIA159n.23d.gz	08/06/2023 19:14	Archivo GZ	325 KB

Figura 28: Horas de trabajo con la base VCIA. Fuente: Elaboración propia

Para el cálculo de las coordenadas X e Y en el software, se creó un trabajo nuevo con el sistema de coordenadas correspondiente y el primer paso era volcar en el programa todos los datos que se habían descargado de la base de Valencia.

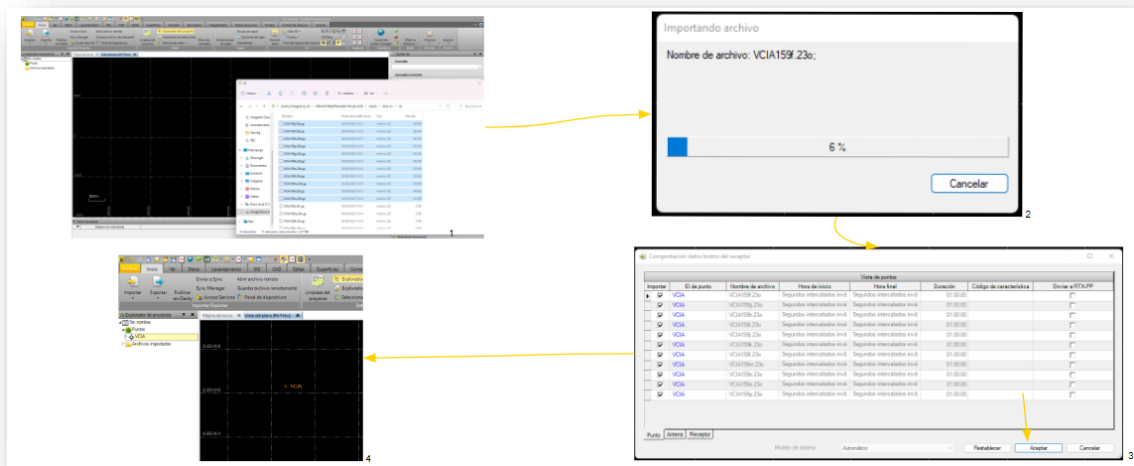


Figura 29: Software trimble Access buiness, puesta de datos. Fuente: Elaboración propia

Con los datos de la base de valencia, se verifico con su hoja técnica sus coordenadas en el software. La hoja se descargó directamente desde la página del ICV.

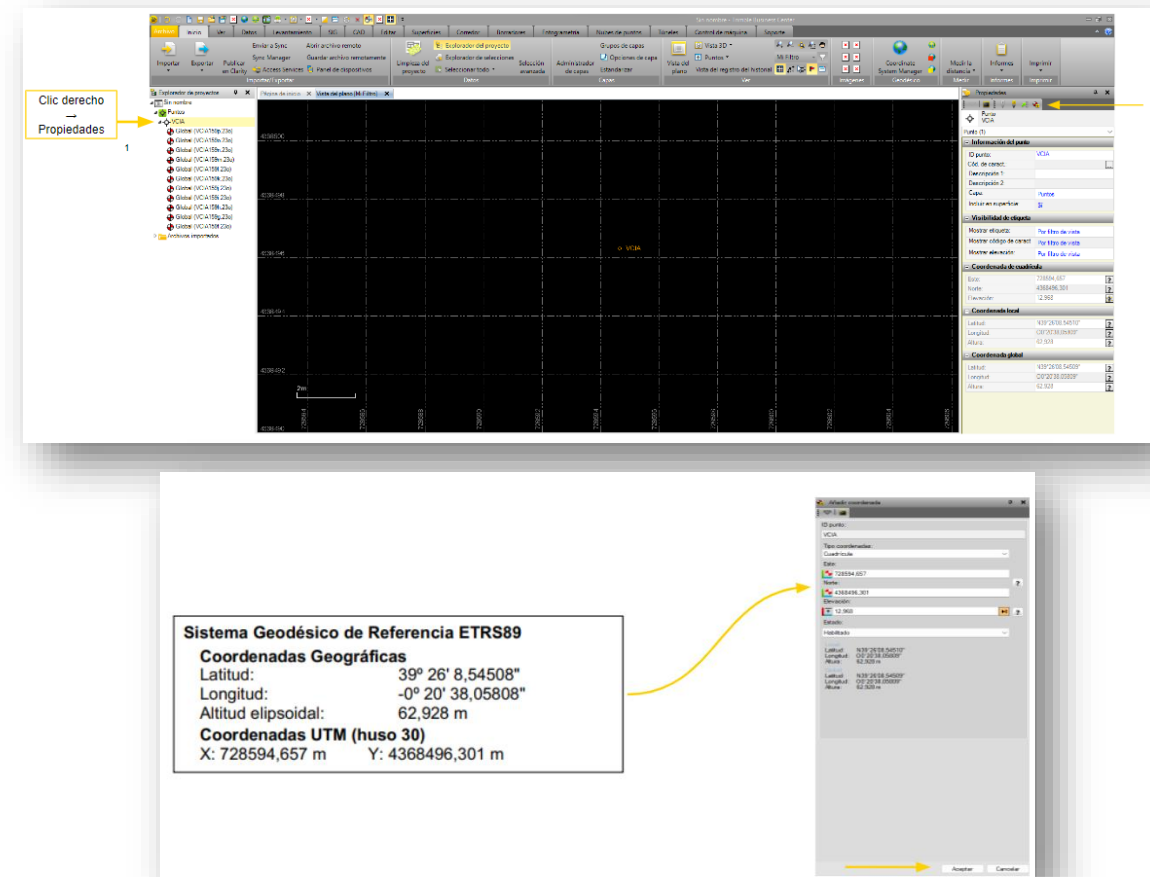


Figura 30: Verificación de coordenadas de VCIA. Fuente: Elaboración propia

Con las coordenadas confirmadas, se procedió a cambiar la calidad de los puntos para que se conviertan en puntos de control. En el software se puede ver el paso realizado cuando el punto pasa de un círculo (Calidad Desconocida) a un triángulo (Calidad de Control).

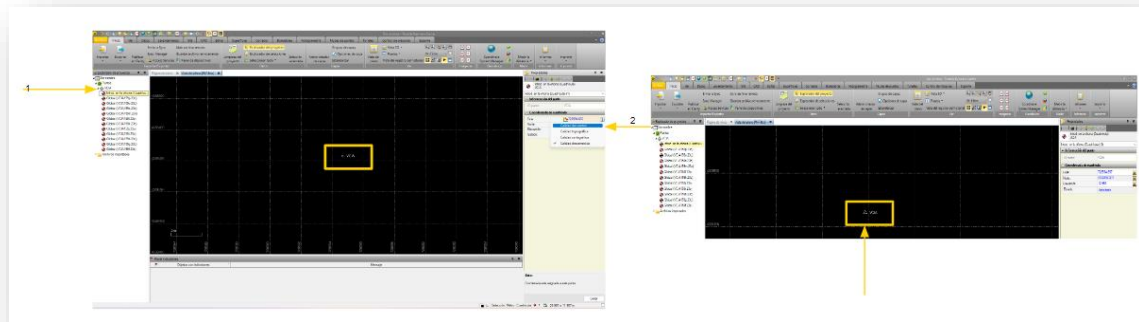


Figura 31: Verificación de calidad de puntos de VCIA. Fuente: Elaboración propia

El siguiente paso ha sido poner todos los datos recogidos en campo con los receptores. El resultado de la operación ha sido lo que se ve en la siguiente imagen:

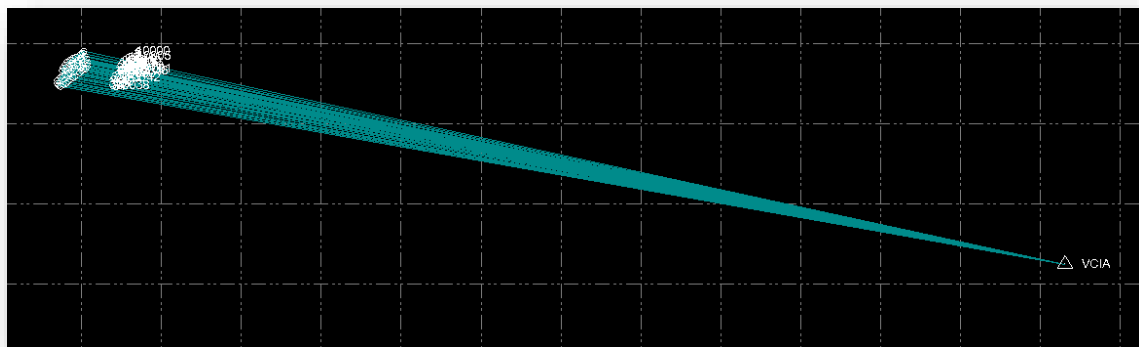


Figura 32: Líneas base con VCIA y nuestras bases. Fuente: Elaboración propia

En la figura 32, se puede observar que todos los estacionamientos están conectados a la base de valencia. Pero hay que recordar que en el circuito se creó una línea base, con un receptor en las gradas y otro en la base número 37. Se decidió entonces eliminar todas las otras líneas base que no sean las de los receptores fijos, ya que los receptores móviles tienen tiempos de observaciones menores, y si se dejan conectados con VCIA pueden provocar errores, resultando la figura 33:

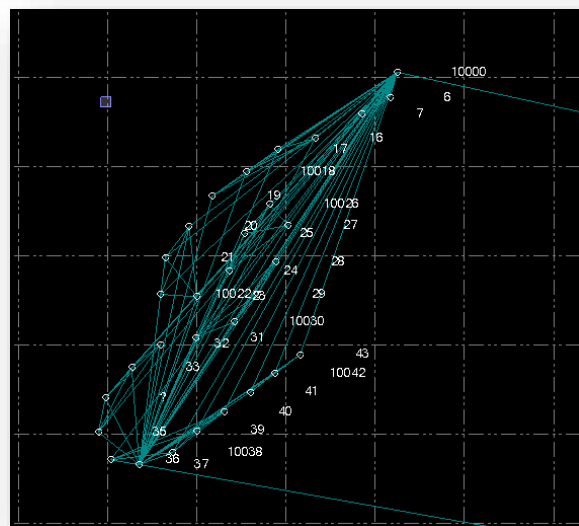


Figura 33: Eliminación de algunas líneas base. Fuente: Elaboración propia

Con este resultado lo único que quedaba era realizar el proceso de la red y ajustarla para poder ver los informes.

Los resultados sacados por nuestra parte y por la empresa especializada variaban de algunos centímetros como se observarán en las figuras 34 y 35:

Datos del archivo del proyecto		Sistema de coordenadas	
Nombre:		Nombre:	World wide/UTM
Tamaño:		Datum:	ETRS89
Modificado/a:	20/06/2023 9:51:49 (UTC:2)	Zona:	30 North
Zona horaria:	Hora estándar romance	Geoide:	egm08_rednap
Número de referencia:		Datum vertical:	
Descripción:		Obra calibrada:	
Comentario 1:			
Comentario 2:			
Comentario 3:			

Lista de puntos

ID	Este (Metro)	Norte (Metro)	Elevación (Metro)	Código de característica
2	704149,675	4373439,696	144,475	
3	704152,055	4373515,753	145,188	
4	704117,788	4373594,068	146,568	
6	704033,124	4373753,941	149,194	
7	703968,906	4373718,832	150,824	
8	703972,135	4373639,455	149,740	
10	704056,155	4373522,260	147,635	
11	704028,205	4373451,839	146,306	
12	703974,448	4373396,843	147,611	
14	703904,731	4373509,789	149,518	
15	703903,035	4373590,678	151,502	
16	703864,441	4373662,964	153,584	
17	703782,289	4373639,756	156,572	
19	703634,398	4373533,885	159,942	
20	703582,601	4373465,171	160,804	
21	703528,858	4373396,100	161,821	
23	703599,702	4373307,823	156,661	
24	703671,396	4373365,297	154,729	
25	703706,405	4373449,757	154,711	
27	703804,991	4373468,092	152,655	
28	703775,992	4373384,959	152,286	
29	703734,240	4373311,310	152,297	
31	703596,520	4373214,489	157,391	
32	703516,889	4373199,957	161,548	
33	703452,653	4373148,446	163,670	

Figura 34: Coordenadas calculadas en oficina. Fuente: Elaboración propia

Datos del archivo del proyecto		Sistema de coordenadas	
Nombre:	E:\GLOBAL_MEDITERRANEA\2023\PAVASAL_CHESTE\GPS_CALCULO\red_cheste.vc	Nombre:	UTM
Tamaño:	257 KB	Datum:	ETRS89
Modificado/a:	09/06/2023 11:28:20 (UTC:2)	Zona:	30 North (3W)
Zona horaria:	Hora estándar romance	Geoide:	EGM 2008 REDNAP

Lista de puntos

ID	Este (Metro)	Norte (Metro)	Elevación (Metro)	Código de característica	Factor de escala de proyección	Ángulo de convergencia de meridiano
1	704095.394	4373369.846	145.778		1.0001130647	1°30'34"
2	704149.412	4373438.929	144.511		1.0001133364	1°30'36"
3	704151.829	4373514.923	145.232		1.0001133485	1°30'36"
4	704117.631	4373593.194	146.604		1.0001131763	1°30'35"
5	704082.006	4373673.252	148.046		1.0001129971	1°30'35"
6	704033.118	4373752.984	149.228		1.0001127511	1°30'34"
7	703968.933	4373717.937	150.858		1.0001124285	1°30'32"
8	703972.118	4373638.621	149.772		1.0001124446	1°30'32"
9	703997.178	4373568.359	148.843		1.0001125706	1°30'32"
10	704056.010	4373521.475	147.673		1.0001128665	1°30'34"
11	704028.045	4373451.125	146.345		1.0001127259	1°30'33"
12	703974.302	4373396.200	147.647		1.0001124558	1°30'31"
13	703907.285	4373436.527	148.175		1.0001121189	1°30'30"
14	703904.700	4373509.093	149.556		1.0001121058	1°30'30"
15	703903.047	4373589.918	151.538		1.0001120975	1°30'30"
16	703864.522	4373662.167	153.614		1.0001119038	1°30'29"
17	703782.423	4373639.021	156.601		1.0001114914	1°30'27"
18	703710.715	4373587.709	158.208		1.0001111314	1°30'25"
19	703634.594	4373533.311	159.968		1.0001107494	1°30'23"
20	703582.803	4373464.678	160.828		1.0001104896	1°30'21"

Figura 35: Coordenadas calculadas por empresa subcontrata. Fuente: Global

Para realizar los pasos anteriores, se utilizaron datos de Rinex 2 ya que la licencia de nuestro software no era compatible con los Rinex 3. Sabiendo que los ficheros Rinex 3 pueden almacenar observaciones de GPS, GLONASS, Galileo, BeiDou y que los ficheros Rinex 2 solo tienen GPS y GLONASS, se ha deducido que la empresa externa pudo utilizar Rinex 3 para sacar más precisión en los datos.

4. Levantamiento Taquimétrico

Como los últimos datos CAD creados del circuito eran del 2012, el equipo encargado del asfalto decidió realizar un levantamiento taquimétrico nuevo y reciente para comprobar el recorrido real de la pista.

Este levantamiento taquimétrico tiene como objetivo principal, actualizar y rehacer la trazada que van a tomar los pilotos durante las carreras. Además, también es de suma importancia para guiar la maquinaria que se ocupó de fresar y asfaltar la pista.

El circuito poseía muchas curvas e irregularidades en las dimensiones de los carriles debido a la creación de parches, extensiones, reparaciones puntuales que se han ido realizando desde 2012. Con lo cual la única forma de recorrerlo fue caminando los 4km de circuito por ambos lados, intercalando lado derecho y lado izquierdo.

a. Instrumental Utilizado

El instrumental utilizado para la realización del levantamiento taquimétrico ha sido un equipo trimble R6 con su controladora TSC2. Aunque estos equipos no son tan recientes, siguen siendo bifrecuencia, capaces de medir por diferencia de fase en las ondas L1 y L2. Corrige el efecto de la atmósfera operando con combinaciones de las portadoras.

En este trabajo, lo indispensable era la rapidez, tener un equipo bifrecuencia que sea capaz de resolver ambigüedades rápidamente influye en los tiempos de observaciones de la toma de datos de cada punto. Aunque la precisión requerida no era muy alta, este equipo da la seguridad de que los puntos no tuvieran mucho error.

Las precisiones que proporciona dicho equipo son:

Posicionamiento GPS diferencial de código¹	
Horizontal.....	0,25 m + 1 ppm RMS
Vertical	0,50 m + 1 ppm RMS
Precisión de posicionamiento	
diferencial WAAS ²	por lo general, menos de 5 m 3DRMS
Levantamientos GNSS Static y FastStatic¹	
Horizontal.....	3 mm + 0,1 ppm RMS
Vertical	3,5 mm + 0,4 ppm RMS
Levantamientos cinemáticos¹	
Horizontal.....	10 mm + 1 ppm RMS
Vertical	20 mm + 1 ppm RMS
Tiempo de inicialización ³	por lo general, menos de 25 segundos
Fiabilidad de la inicialización ⁴	por lo general, más de un 99,9%

Tabla 3: Características de GPS R6. Fuente: Pagina web de Trimble.

Los componentes de este equipo Trimble R6 son:

- Controladora TSC2
- Receptor-Antena R6
- Baterías



Figura 36: Instrumentos utilizados para el levantamiento taquimétrico. Fuente: Elaboración Propia

b. Metodología Utilizada

La metodología para la elaboración del levantamiento taquimétrico es bastante sencilla. Como se ha dicho anteriormente, el objetivo es que se pueda realizar una trazada actualizada y que pueda guiar a las máquinas del asfalto. Entonces, lo que importo fue la forma del circuito, en especial la parte interior. De este modo, sabemos que los elementos exteriores (pianos, césped, aspersores, etc) no sería necesario tomarlos.

Con lo cual, lo que se ha hecho es ir recorriendo a pie los cuatro kilómetros del circuito siguiendo la parte que se iba a renovar, la pista. Como se ha observado, la forma más fácil para no equivocarse en la realización del levantamiento es seguir las líneas blancas que delimitan la trazada. Para tener bastante consistencia de puntos, se eligió tomar puntos cada 20 metros en líneas rectas y en las curvas seguir el cambio de color (blanco – naranja) de los pianos, lo que equivalía a distancia entre 2-3 metros.

Esta separación entre puntos ha sido pensada para agilizar y disminuir el tiempo que se iba a emplear luego en postproceso a la hora de dibujar los puntos en AutoCAD. Con una distancia constante de 20m, en las líneas rectas no hubiera tenido ningún cambio, pero en las curvas se hubieran creado picos de poligonal demasiado fuertes, lo que nos produciría problemas y errores. Surgieron algunos errores que se pudieron cambiar con el software rápidamente.

En total se han cogido entre 900-1200 puntos en todo el circuito, lo que equivale a una jornada completa de trabajo. Los datos se han tomado en un único día.

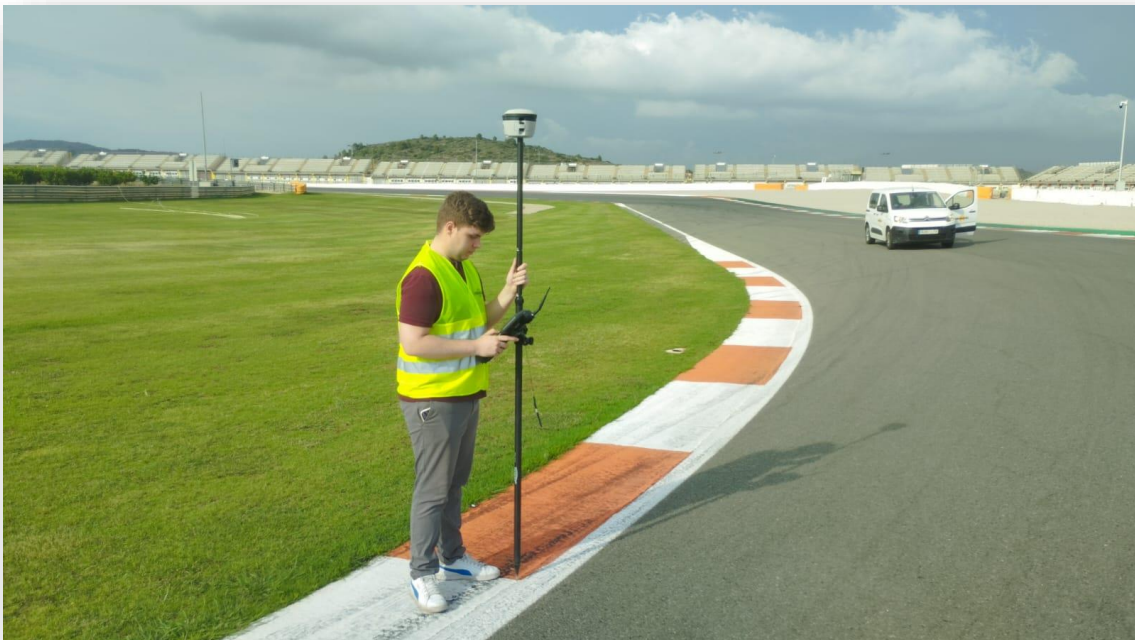


Figura 37: Toma de datos en campo, levantamiento taquimétrico. Fuente: Elaboración propia

Obteniendo el siguiente resultado de la unión de los puntos del levantamiento taquimétrico representado en la figura 38:

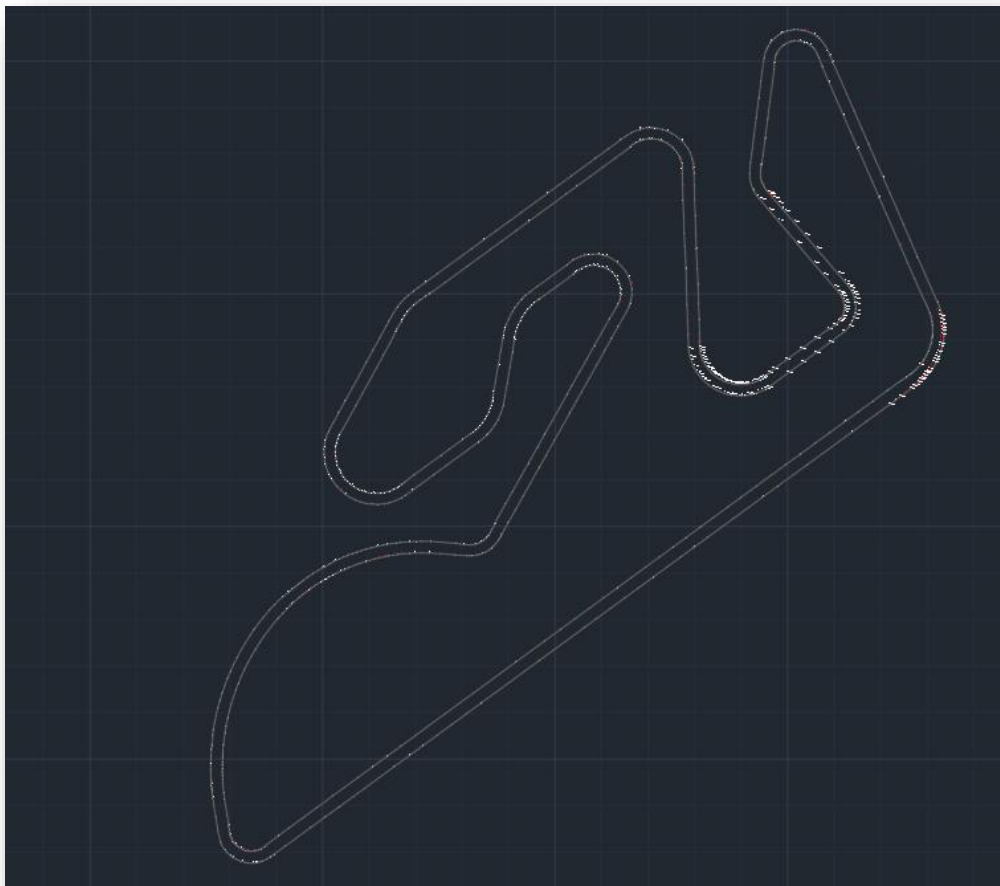


Figura 38: Resultado del levantamiento taquimétrico. Fuente: Elaboración propia

5. Escaneado de la pista

“El escaneado láser describe un método mediante el cual una superficie se muestrea o escanea usando tecnología láser. Se analiza un entorno u objeto real para tomar datos sobre su forma y, posiblemente, su apariencia. Los datos capturados pueden ser usados más tarde para realizar reconstrucciones digitales, planos bidimensionales o modelos tridimensionales útiles en una gran variedad de aplicaciones.

La ventaja del escaneado láser es el hecho de que puede tomar una gran cantidad de puntos con una alta precisión en un periodo de tiempo relativamente corto. Es como tomar una fotografía con información de profundidad. Y al igual que en el caso de la fotografía, los escáneres láser son instrumentos de línea de vista. Por tanto, es necesario realizar múltiples capturas desde diferentes estaciones para garantizar una cobertura completa de una estructura.” (LERMA GARCÍA. J.L, BIOSCA TARONGERS. M.B. *Teoría y práctica del Escaneado Láser Terrestre*, <http://jllerma.webs.upv.es/pdfs/Leonardo_Tutorial_Final_vers5_SPANISH.pdf> [Consulta: 20 de agosto 2023])

Para la elaboración de un MDT (Modelo Digital del Terreno), fue necesario un escaneado del circuito. La técnica utilizada durante los escaneados terrestre era la llamada “escaneado láser estático”. Una de las ventajas de este método es la alta precisión y la alta densidad de puntos que se pueden llegar a conseguir.

El escaneado, no ha sido realizado por la empresa, sino por una empresa externa (subcontratada) con experiencia en trabajos de este tipo. El objetivo de este escaneado fue obtener un MDT que después de postproceso en gabinete, nos fuera útil para replantear cotas a lo largo de la pista, para guiar la fresadora y así saber cuánto material deben de quitar para llegar al punto deseado.

Al igual que el levantamiento taquimétrico, la zona importante es la parte interior del circuito, lo que está en los alrededores se ha tenido que eliminar luego en gabinete para dejar solo la parte útil para agilizar los procesos.

Los procesos en gabinete los han realizado la empresa contratada directamente por su cuenta, o con la supervisión de mi tutor de prácticas para la elaboración del MDT, teniendo así, las precisiones deseadas por la empresa.

a. Instrumental Utilizado

El instrumental utilizado ha sido un escáner GLS-2200 de Topcon, con sus dos prismas para dar coordenadas a la nube de puntos y su trípode.

Las características del instrumento son lo suficiente buenas para realizar el trabajo. Se eligió este producto por su rapidez en la toma de datos y por las distancias que existen entre puntos.

DISTANCE ¹	SHORT	MIDDLE	LONG	
90% reflectivity	1 - 130 meters	1 - 350 meters	1 - 500 meters	
SCANNING MODULE				
Scan mode ²	Detail	High Speed	Low Power	Standard
Scan data rate (Maximum points per second)	120,000	120,000	48,000	60,000
Laser Class	Class 3R		Class 1	Class 3R
Scanning Density (Resolving Power)				
Spot Size (FWHM)	$\phi \leq 4$ mm 1 to 20 m	$\phi \leq 11$ mm 1 to 150 m		
Point Increment	Minimum 3.1 mm (At 10 m)			
Maximum Point Number	V: 15,202 Pt/Line (270°) H: 20,268 Pt/Line (360°)			
Field of View	V: 270° / H: 360°			
Angle Accuracy	H: 6" / V: 6"			
Distance Accuracy	3.1 mm (σ) At 1 to 90 m	3.1 mm (σ) At 1 to 110 m	3.7 mm (σ) At 1 to 110 m	3.1 mm (σ) At 1 to 150 m
Surface Accuracy	1.0 mm (σ) ³			
	At 1 to 90 m	At 1 to 110 m	At 1 to 110 m	At 1 to 150 m

Tabla 4: Características del escáner GLS-2200. Fuente: Pagina web TopCon



Figura 39: Escáner GLS-2200. Fuente: Pagina TopCon

b. Metodología Utilizada

En esta fase, al ser realizado por una empresa externa no dieron a conocer el emplazamiento exacto de las bases. Comentaron que tenían pensando realizar un escaneado cada 45 metros, y al igual que la puesta de bases, era importante ir navegando de lado a lado de la pista.

De este modo, el objetivo era señalarles donde tenían que estacionar con la distancia correspondiente. Con la ayuda el GNSS, se tomaba un punto en el lugar del primer estacionamiento, y luego se replanteaba dicho punto y se caminaba hasta un próximo punto. También, al llegar a una base, al estacionar los prismas en las bases para dar coordenadas al escáner para que los puntos estén georreferenciados, fue importante marcar su posición con una estaca, bote de pintura o cualquier elemento que

sea visible y reconocible en distancias de 45 metros. Es un proceso repetitivo, pero importante. Como cualquier trabajo, lo que se nota es la rapidez de ejecución, y más en este caso, donde las ventanas de trabajo seguían siendo pequeñas.

Las personas encargadas del escaneado inicialmente pensaron que con unos 100 estacionamientos sería suficiente. Cada escaneado tenía que durar 14 minutos, contando estacionar el escáner, el escaneado y el desplazamiento hasta otro escaneado, siendo un total de 24-25h de trabajo (3 jornadas completas de trabajo). Al final, se realizaron 120 escaneados, de esta forma otorgaba más seguridad con los solapes y las precisiones deseadas.

Al hacer cuatro escaneados, se realizaron unas verificaciones con el software Magnet de TopCon, y se observaron algunos errores. Es decir, las precisiones deseadas tenían que ser inferiores a 5 mm, y los resultados obtenidos fueron de alrededor de 7-8 mm.

En la figura 40 podemos ver rápidamente la interfaz del programa y desde esa misma pantalla se podía verificar los datos que se estaban tomando con el escáner.



Figura 40: Programa Magnet de TopCon.
Fuente: Elaboración propia

Aunque se realizaron algunos suavizados, los resultados seguían siendo peores de lo esperado. Tras algunos intercambios, se decidió cambiar de equipo por si el equipo se hubiera descalibrado durante el camino.

Con el otro escáner las precisiones eran las deseadas. Y se siguió escaneando el resto del circuito con él. Después de los 120 escaneados, la empresa unió los datos obtenidos para obtener la nube de puntos.

Para la comprobación de dicha nube de puntos, se insertaron los datos en la libreta TSC5. La libreta, aunque sea de última generación, no podía cargar con toda la información, entonces se procedió a dividir la nube de puntos en “tramos” del circuito, formando así 6 ficheros. Durante esa comprobación he utilizado nuestra estación total con la libreta. La metodología seguida para comprobar fue estacionar entre 2 bases y

una vez hecho, replantar puntos aleatorios en el tramo de 75 metros que formaban las bases. El error se detectaba cuando, a la hora de replantar, el punto tenía una altura superior a 5 mm del suelo.

Se siguió la misma metodología durante los 4 km del circuito, la mayoría de los puntos replanteados no superaban los 3 mm de error, pero, en el principio donde se hizo el cambio de scanner, existía un error de 5-6 mm según lo previsto. Siendo esta precisión inadmisibles para este proyecto, se habló con la empresa para que revisase los datos. Una vez revisados, se envió otra versión que también se tuvo que verificar, y en este último caso, la precisión fue la deseada.

Debido a que el escaneado tenía millones de puntos, la libreta TSC5 no podía gestionar tanta carga de datos a la vez, entonces se ha tenido que partir los datos para utilizarlos por zonas. En la figura 41, se observa la zona del inicio del circuito donde los valores de "Dist.V" son de 9 y 10 mm. Como se ha dicho anteriormente, lo previsto era que esta distancia no superara los 3-4 mm. Aunque el resto del modelo estaba bien, se notificó a la empresa para que realice los cambios pertinentes para proporcionarnos las precisiones deseadas.



Figura 41: Comprobaciones del escaneado. Fuente: Elaboración propia

En gabinete, trabajando con el programa, el jefe de obra se dio cuenta de que se podía sacar con la nube de puntos, un modelo del circuito en el cual se podrían sacar las cotas necesarias para realizar el fresado de 6 cm. Los datos del MDT se enviaban en la libreta para poder comprobar y marcar en campo.

Se han podido tomar algunas imágenes durante el proceso de la creación del modelo. En la figura 42, podemos ver la nube de puntos densa del escaneado:

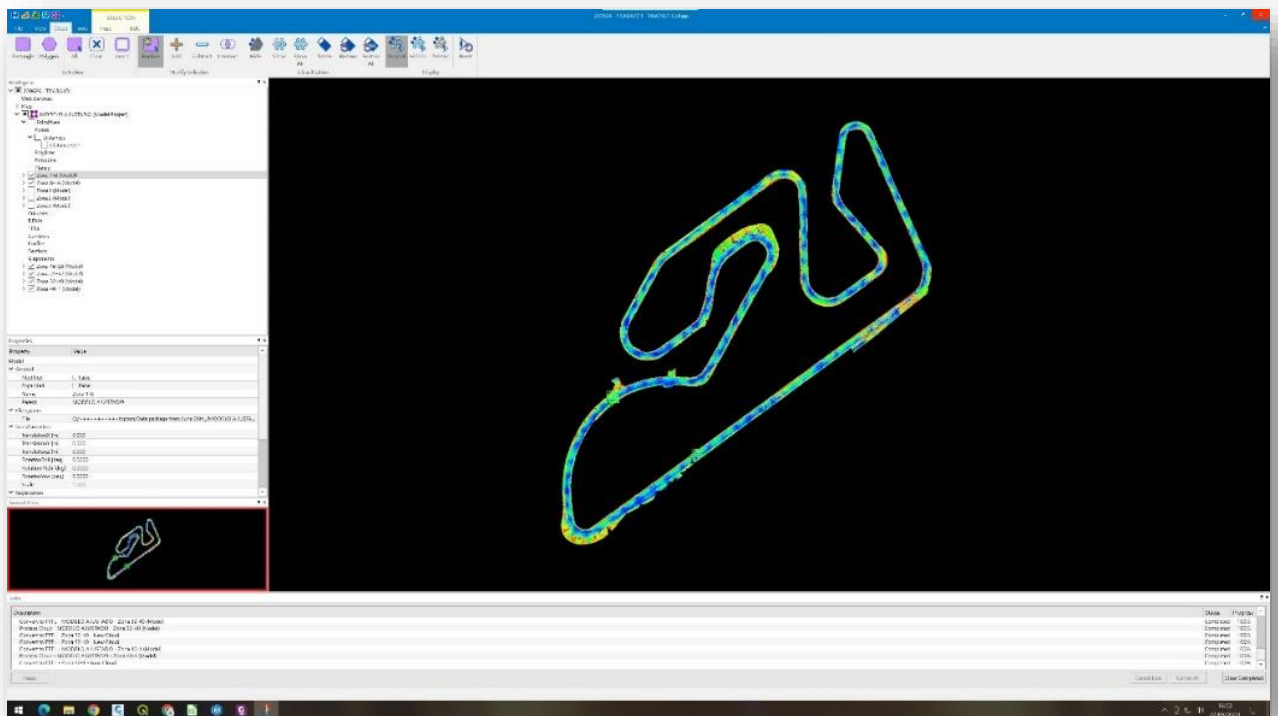


Figura 42: Nube densa del escaneado en el software MAGNET. Fuente: Elaboración propia

Se ha comprobado que las distancias entre puntos eran las deseadas, es decir 3-4mm:

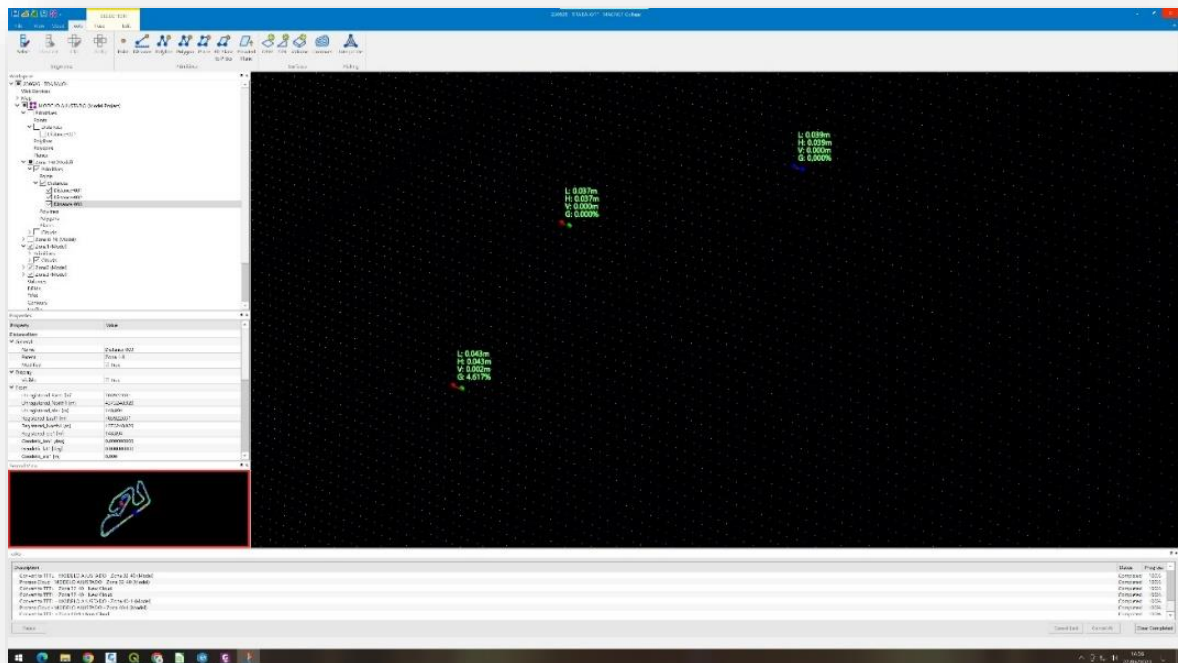


Figura 43: Comprobación de las distancias de puntos en la nube. Fuente: Elaboración propia

6. Vuelo Dron

“La fotogrametría es una técnica que tiene por objetivo estudiar y definir de manera precisa, las dimensiones, formas y posición de un objeto en el espacio. El uso de drones ha supuesto un gran avance en labores de fotogrametría aérea. Ahora es posible obtener resoluciones mucho mayores además de aumentar significativamente la rapidez en su realización. Una vez hechas las fotografías, se crea una nube de puntos georreferenciada. Esa nube de puntos se puede exportar en los formatos estándares para su procesamiento.

La mayor parte de los trabajos de fotogrametría que se llevan a cabo utilizando drones hoy el día son varias, pudiendo ser arquitectura, arqueología, cartografía, topografía etc.” (ACG DRONE, *Fotogrametría aérea con drones* <<https://acgdrone.com/fotogrametria-aerea-con-drones/>> [Consulta: 22 agosto 2023])

Como se ha comentado anteriormente, el vuelo con dron tenía en este proyecto el objetivo de crear una ortofoto que sería útil a posteriori para replantear las líneas blancas de la pista y para que los pintores pudieran pintar de nuevo los pianos que han sido destruidos por la fresadora o remplazados.

El jefe de obra tuvo que pedir permisos para realizar el vuelo dron ya que la zona del proyecto tenía restricciones de vuelo. También se encargó de la realización de dicho vuelo ya que es el único con certificado de vuelo.

a. Instrumental Utilizado

Para este vuelo, se ha utilizado un Dron Phantom 4 RTK. Tiene unas precisiones centimétricas que son más que suficientes para el trabajo deseado. Su sistema de posicionamiento está formado por las constelaciones de Glonass, GPS, Beidou y Galileo permitiendo una buena precisión de desplazamiento.

Las especificaciones de la cámara son las siguientes:

Sensor	1" CMOS Pixeles efectivos: 20 MP
Objetivo	FOV 84° 8.8 mm / 24 mm (formato equivalente a 35 mm)

Tabla 5: Características del Dron Phantom 4 RTK. Fuente: Pagina de DJI



Figura 44: Dron Phantom 4 RTK. Fuente: Elaboración propia

b. Metodología utilizada

Antes de realizar el vuelo se analizó la zona donde se iba a lanzar. La zona de lanzamiento tenía que estar en el medio del circuito para evitar cualquier pérdida de señal entre la controladora y el dron. También, se tuvo que remarcar algunas bases con más claridad, para que luego en gabinete se pudieran enlazar las coordenadas de las bases con la ortofoto realizada.

En las siguientes imágenes de la figura 45 podemos ver algunos ejemplos de bases que se han tenido que remarcar:

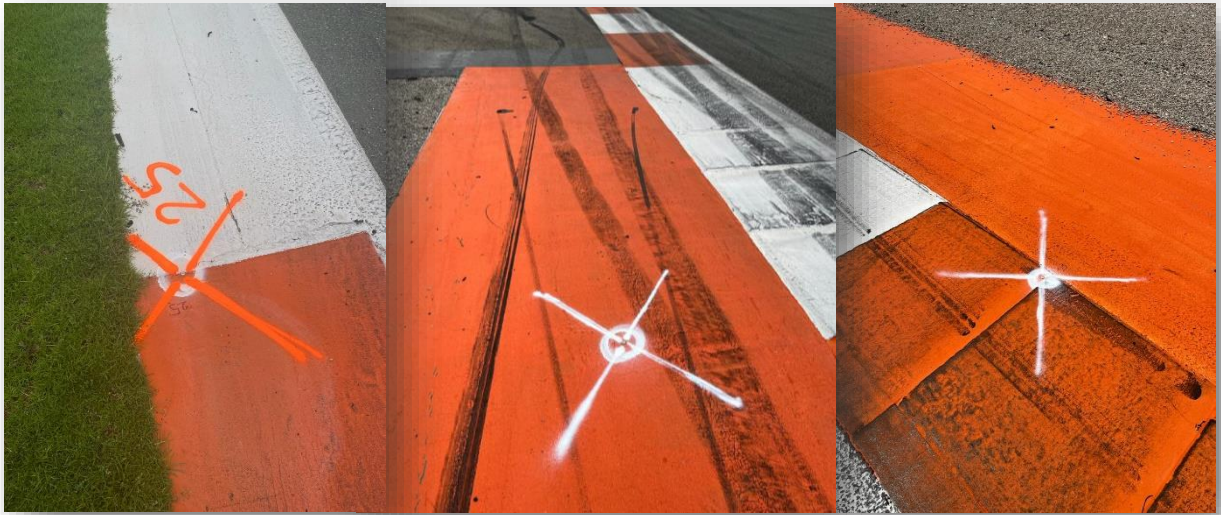


Figura 45: Bases para apoyo de dron. Fuente: Elaboración propia

Después de remarcar algunas bases alrededor del circuito, se pasó a la configuración del plan de vuelo. Haciendo pruebas para obtener la máxima precisión en el menor tiempo posible, se configuró el vuelo para que tenga una altura de 70 m. De esta forma, el vuelo tendría una duración de 40 minutos y la resolución por pixel era de 1.92cm, más que suficiente para el objetivo de la ortofoto.

En la figura 46 podemos ver el plan de vuelo que se ha realizado y el punto de partida en color naranja. El área volada tiene una dimensión de 378.336 m², con una duración de vuelo estimado de 43min y se calculó 996 fotos.



Figura 46: Configuración del plan de vuelo. Fuente: Elaboración propia

Durante el vuelo, la controladora permite realizar un seguimiento en tiempo real de la posición del dron y ver lo que está viendo. También, proporciona más información sobre el número de imágenes tomadas, el recorrido realizado y el estado de las baterías.



Figura 47: Seguimiento del vuelo de dron. Fuente: Elaboración propia

En gabinete se utilizó el programa Pix4D para realizar la ortofoto con las imágenes recibidas del vuelo dron. El programa es muy intuitivo ya que para realizar una ortofoto como la figura 48. Es tan sencilla, como seguir el flujo de trabajo propuesto por el programa.



Figura 48: Ortofoto realizada con Dron. Fuente: Elaboración propia

7. Replanteos en obra

Para agilizar la ejecución de la obra, y facilitar el fresado, el asfalto y la reposición de la pintura, se han tenido que replantear puntos obtenidos con los pasos anteriores en todo el circuito en una distancia constante. Las distancias de replanteo y de comprobación han sido dictadas o bien por los jefes de obra, o bien por aquellas personas que se ocupan del manejo de las máquinas.

7.1 Replanteo de cotas (Obra negra)

Se llama Obra negra la obra en la cual se fresa un terreno y en el cual se va a asfaltar. En esta primera parte, se tenía que marcar las cotas obtenidas del MDT creado con los datos del escaneado. Este replanteo era necesario para verificar si el modelo estaba bien hecho o había que retocarlo. Además, el replanteo permitía guiar la maquinaria y supervisar el avance ya sea en fresar o en asfaltar.

a. Instrumental utilizado

Para el marcaje de la cuadrícula sobre el circuito, se utilizaron una cinta métrica para marcar transversalmente y una rueda de medición para marcar longitudinalmente.

Para el marcaje de las cotas, la comprobación tanto para la fresadora como para el asfalto se ha utilizado la estación robótica S5 de la figura 14, detallada en el paso de la nivelación.

b. Metodología utilizada

Antes de replantear las cotas, se tuvo que llegar a un acuerdo con las personas que iban a manejar la fresadora. Se decidió replantear puntos cada 5 m longitudinalmente y cada 2 m transversalmente. Los puntos además de servir para dar precisión en la ejecución de la obra sirvieron para formar un camino para la fresadora.

Los primeros días se realizó una cuadrícula sobre el circuito, en el cual se pusieron puntos cada 5 m y 2 m con la cinta y la rueda de medición. Ese marcaje se podía haber hecho replanteando líneas con la estación robótica, pero se tenía que ser prácticos y hacer este replanteo lo antes posible. En la figura 49 se puede ver el proceso de marcaje de la cuadrícula.



Figura 49: Marcaje de la cuadrícula.

Fuente: Elaboración propia

Después de la cuadrícula, se empezó a replantear las cotas. Para ello fue necesario estacionar la estación robótica con las bases implantadas desde el inicio y replantear los puntos del modelo del circuito. Para verificar si los datos estaban correctos, se observaron los valores de los laterales de la pista. Estos valores debían estar comprendidos entre 0,54 m y 0,66 m (estos valores son de desfase, ya que dicen a la fresadora lo que hay que quitar de asfalto), valores más altos o bajos se debían de notificar al jefe de obra para que realizara los cambios pertinentes.

En la figura 50 se puede observar los puntos de cotas sobre el circuito. Al estar la cuadrícula hecha antes de marcar las cotas, el proceso ha sido más ligero, aunque muy repetitivo.



Figura 50: Replanteo de cotas con el modelo del circuito para el fresado. Fuente: Elaboración propia

A la vez que se marcaban las cotas, la maquinaria del fresado estaba haciendo su trabajo. Se consiguió replantear todas las cotas antes de que la fresadora hubiera hecho la mitad del circuito. Con este adelanto, se aprovechó para verificar por detrás de la fresadora, es decir, lo que había realizado de corte. El proceso era el mismo que cuando se han puesto las cotas, pero esta vez, los valores de la distancia vertical debían de ser cercanos a 0,000 m. Unos valores muy por arriba o por abajo se debían de notificar al fresador para que haga una repasada y corregirse.

En las imágenes de la figura 51 podemos ver la distancia vertical deseada 0,000m, muchas se iban algunos milímetros, pero seguían en un rango tolerable. Valores más altos o bajos podían ser por culpa de algún despiste del maquinista en su pasada, del desgaste de la fresa, de la solidez del terreno etc. De todos modos, los encargados de la fresa podían actuar de una forma u otra según lo que veían escrito en el terreno, y coger la decisión de realizar una nueva pasada o dejar el terreno con su cota actual.



Figura 51: Comprobación del fresado. Fuente: Elaboración propia

Una vez el circuito fresado en su totalidad, era necesario realizar de nuevo un marcaje para el equipo de asfalto para que sepan cuanta cantidad de material podrían necesitar. En las siguientes imágenes de la figura 52, se observan la disposición de los tochos en la pista. Se han instalada tochos cada 10m en rectas y cada 5m en curvas. Se han instalado 3 tochos por perfil, siendo los dos bordes laterales y el eje de la pista.

Esos tochos llevan una “cinta blanca” que ha sido replanteada con estación total y el MDT. La cota se representa siempre con la parte baja de la cinta. La cota debe de estar colocada de forma precisa porque es la altura en la cual se va a guiar el equipo de asfalto a la hora de reponer la pista. Para guiarse y llegar al nivel deseado con el material, el equipo de asfalto instala una lienza en la cota señalada con la cinta entre todos los tochos. Eso les permite dos cosas, crearse un camino a seguir con la maquinaria, e indicarse la cantidad de material a echar. Se puede observar el avance del equipo de asfalto con la figura 53.



Figura 52: Instalación de tochos con sus cotas. Fuente: Elaboración propia



Figura 53: Puesta de lienza para guiar las máquinas y nivelar el asfalto. Fuente: Elaboración propia

7.2 Replanteo de pinturas (Obra blanca)

Se llama Obra blanca la parte en la cual tenemos que replantear puntos para que los pintores del circuito puedan generar alineaciones y de esta forma pintar las líneas sobre la pista. Este marcaje era necesario ya que, al tener una pista nueva, los pintores no tenían ningún punto de apoyo visual para guiarse y hacer las líneas.

a. Instrumental utilizado

El instrumental utilizado ha sido un GPS R6 el mismo que para la realización del levantamiento taquimétrico con la controladora TSC5.

b. Metodología utilizada

Antes de replantear los puntos que servirían para el dibujo de las alineaciones, primero se tuvo que preparar los datos necesarios para ello. En gabinete, se utilizaron los datos obtenidos del levantamiento taquimétrico para realizar un desface y así poder dibujar las líneas blancas. Podemos observar el resultado de las líneas con la figura 54:

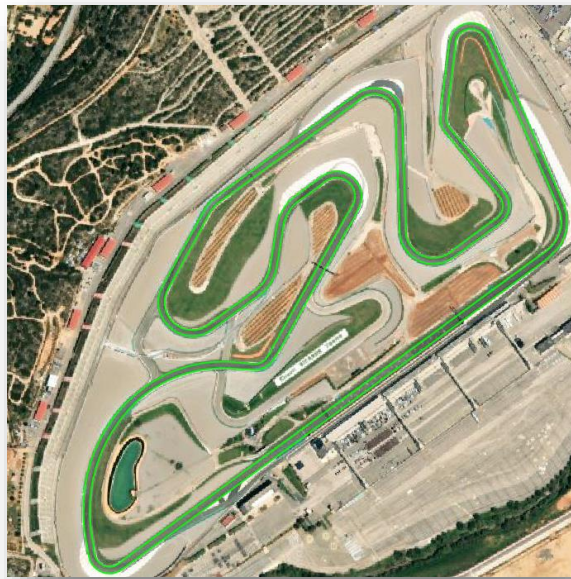


Figura 54: Representación de líneas blancas. Fuente: Elaboración propia

Después, se cargaron los datos obtenidos de esta línea en nuestra libreta TSC5 y se replantearon puntos sobre la pista cada 10-15 metros. La distancia era más que suficiente para los pintores debido a que ellos van poniendo una cuerda en el suelo uniendo los puntos replanteados para realizar su propio marcaje.

Resultados

En este apartado se van a mostrar los distintos resultados obtenidos en las diferentes etapas del proyecto.

1. Implantación de las bases:



Figura 55: Implantación de las bases. Fuente: Elaboración propia

Esta primera fase se realizó con éxito. Los tiempos de trabajo eran bastante cortos y la toma de decisión debía de ser rápida. Las bases fueron lo bastante densas para ejecutar y revisar las etapas sin inconvenientes.

Sin embargo, a lo largo de la obra, se tomaron decisión por partes de los otros equipos que causaron la desaparición de algunas bases. Pero, al tener bases bastante cercanas, no se tuvo la necesidad de implantar otras nuevas.

2. Nivelación de las bases:

La nivelación de las 47 bases era satisfactoria, obteniendo resultados esperados con un error de cierre inferior a 5mm. En la figura 55 se observan las coordenadas X, Y e Z de las bases implantadas anteriormente. Realmente lo que nos interesaba en este paso era la coordenada Z.

Durante la obra no se tuvo problema al nivel de cotas, entonces podemos confirmar que la nivelación estaba correcta.

Nivelación de bases	
1,704095.394,4373369.846,145.778	25,703706.501,4373449.212,154.74
2,704149.412,4373438.929,144.511	26,703762.317,4373514.552,154.286
3,704151.829,4373514.923,145.232	27,703805.017,4373467.481,152.686
4,704117.631,4373593.194,146.604	28,703775.998,4373384.43,152.317
5,704082.006,4373673.252,148.046	29,703734.241,4373310.862,152.327
6,704033.118,4373752.984,149.228	30,703682.485,4373249.794,153.909
7,703968.933,4373717.937,150.858	31,703596.58,4373214.19,157.419
8,703972.118,4373638.621,149.772	32,703517.006,4373199.711,161.572
9,703997.178,4373568.359,148.843	33,703452.794,4373148.274,163.693
10,704056.01,4373521.475,147.673	34,703393.349,4373080.713,164.191
11,704028.045,4373451.125,146.345	35,703377.741,4373003.795,162.528
12,703974.302,4373396.2,147.647	36,703405.739,4372941.135,159.175
13,703907.285,4373436.527,148.175	37,703470.298,4372930.729,155.744
14,703904.7,4373509.093,149.556	38,703544.449,4372959.126,155.107
15,703903.047,4373589.918,151.538	39,703597.831,4373006.195,154.898
16,703864.522,4373662.167,153.614	40,703659.306,4373049.827,153.874
17,703782.423,4373639.021,156.601	41,703718.488,4373093.186,152.744
18,703710.715,4373587.709,158.208	42,703773.641,4373134.515,151.729
19,703634.594,4373533.311,159.968	43,703830.572,4373176.264,150.683
20,703582.803,4373464.678,160.828	44,703887.531,4373217.851,149.611
21,703529.067,4373395.691,161.844	45,703944.325,4373259.336,148.55
22,703518.579,4373312.832,160.794	46,704006.97,4373304.646,147.397
23,703599.808,4373307.448,156.687	47,704044.004,4373351.642,146.78

Figura 56: Nivelación de bases. Fuente: Elaboración propia

3. GNSS Estático:

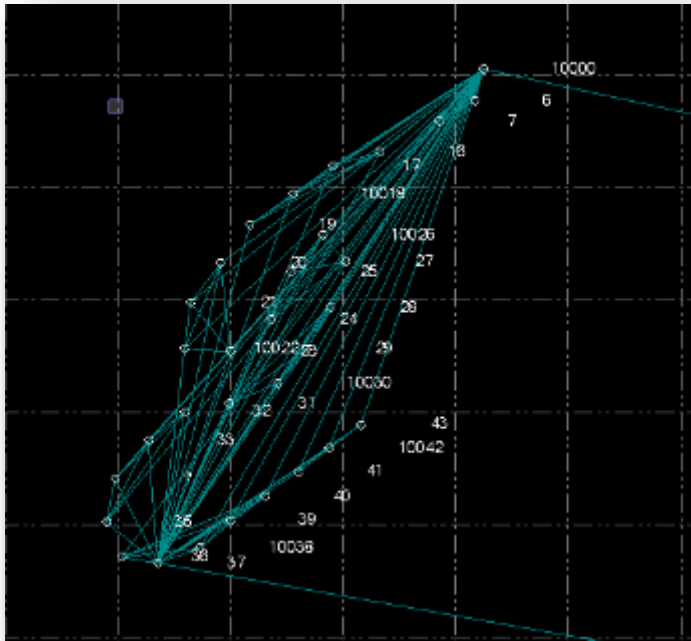


Figura 57: GNSS Estático. Fuente: Elaboración propia

La ejecución del GNSS Estático se realizó sin ningún imprevisto. Como comentado las coordenadas utilizadas en el proyecto provenían del cálculo realizado por una empresa subcontrata experta en este tipo de trabajo.

Pero en gabinete, con una versión diferente, se consiguió llegar más o menos al mismo resultado que la empresa. Confirmando de este modo la veracidad de los datos recibidos.

4. Levantamiento Taquimétrico:

El taquimétrico tuvo en su gran mayoría los resultados esperados. Salvo en algunas partes conflictivas como las curvas en las cuales se tuvieron que modificar a posteriori en gabinete.

El resultado de este taquimétrico era útil para recrear el recorrido de la pista además de guiar la maquinaria de asfalto.

Durante la ejecución, otros equipos utilizaron estos datos para definir el emplazamiento de algunos pianos que se tuvieron que quitar y reponer debido a su mal estado.

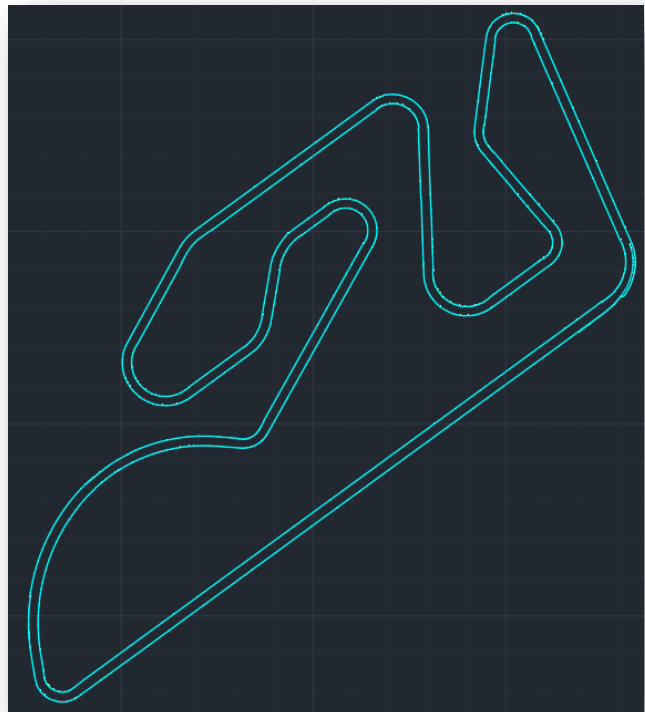


Figura 58: Levantamiento taquimétrico. Fuente: Elaboración propia

5. Escaneado de la pista:



Figura 59: Escaneado de la pista. Fuente: Elaboración propia

Esta etapa era crucial para una buena ejecución de la obra. Puesto que la creación del MDT, que íbamos a seguir el resto de la obra para comprobar cotas y realizar los replanteos para el fresado, provenía de este escaneado.

Se han realizado varias comprobaciones durante la toma de datos y también a posteriori para asegurarnos de la veracidad de los datos. Se tuvieron que realizar algunas modificaciones de este MDT para poder optimizar al máximo el encaje de la pista.

6. Vuelo Dron

La ortofoto obtenida del vuelo dron tenía la suficiente resolución para cumplir con sus expectativas.

Este vuelo solo era necesario para obtener una vista actual del circuito además de servir para el replanteo de las pinturas sobre los pianos.



Figura 60: Ortofoto del circuito. Fuente: Elaboración propia

Presupuesto

El presupuesto de este proyecto consta del coste de la topografía. El coste, debido a las empresas subcontratas no se verá reflejado debido a datos confidenciales. De este modo, el presupuesto se ha dividido en 3 partes, siendo la primera el personal, la instrumentación y los softwares.

Por parte del personal, el coste es el siguiente:

Personal salario base	Anual (14pagas)	Mensual	Dia	Hora	Horas empleadas en el proyecto	Coste total Individualmente	Coste total del personal
Jefe de Topografía	42000	3000,00	100,00	12,50	360 horas (2 meses)	4500,00	10607,14
Ingeniero tecnico en topografía	33000	2357,14	78,57	9,82	360 horas (2 meses)	3535,71	
Ingeniero en geomatica y topografía	24000	1714,29	57,14	7,14	360 horas (2 meses)	2571,43	

Tabla 6: Presupuesto del personal en topografía. Fuente: Elaboración propia

Por otra parte, el coste de los instrumentos:

Instrumentación	USO	Coste de licencia	Coste total individualmente	Coste total del instrumental
Láser Escáner	Toma de la nube de puntos	1500€/semana	1.500 €	4.241 €
Estación Trimble S5	Toma de datos en campo	798€ / mes	1.596 €	
GPS R6 Trimble	Elaboración del levantamiento taquimétrico	85€/día	85 €	
6 GPS R6 Trimble	Elaboración del levantamiento estatico	85€/día	510 €	
Dron Phantom 4 RTK	Elaboración de la ortofoto	550€/día	550 €	

Tabla 7: Presupuesto de la instrumentación. Fuente: Elaboración propia

Por último, el coste de los softwares:

Software Licencias	USO	Coste de licencia	Coste total individualmente	Coste total del software
CIVIL 3D	Elaboración del taquimétrico	400€/mes	400 €	7.460 €
Magnet Collage	Elaboración del MDT del circuito	300€/mes	600 €	
Pix4Dmapper	Elaboración de la ortofoto del circuito	260€/mes	260 €	
Trimble Access 2022	Programa de la libreta de campo	3200	3200	
Trimble Buisness Center	Elaboración de datos GNSS de precision	3000	3000	

Tabla 8: Presupuesto de los softwares. Fuente: Elaboración propia

Los softwares Trimble Access y Trimble Buisness Center son programas en los cuales compras una licencia y la tienes para siempre. Los precios varían en función del uso que les quieras dar.

El presupuesto por parte de la topografía es el siguiente, representado por la tabla 9.

Presupuesto Total		
Personal	10607,14	22308,14
Instrumentación	4.241 €	
Softwares	7.460 €	

Tabla 9: Coste total en topografía. Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

Una vez finalizada la renovación del circuito, y después de haber tenido la oportunidad de observar y participar en cada una de las fases del trabajo en campo y gabinete, se concluye que una renovación de carretera, o de circuito en este caso, no es tan sencilla como quitar y reponer firme, sino que lleva una gran labor técnica por detrás.

Durante la ejecución de este proyecto se han tenido días buenos y otro no tan buenos, pero esta experiencia me ha permitido entender con claridad la importancia del trabajo en equipo. La comunicación, entre los jefes de obra y los técnicos en campo, en las obras es un pilar fundamental para el buen desarrollo de ella misma. En este proyecto, se ha observado una comunicación muy rigurosa. Cuando surgía algún imprevisto, los jefes de obra no dudaban en reunirse para la toma de decisiones y así actuar de una forma u otra.

También es muy importante la gestión del tiempo. Es decir, antes de empezar una obra, se estiman unos tiempos y se intentan respetar lo máximo. Pero cuando aparecen imprevistos, es importante comentarlos directamente para ajustar los tiempos de nuevo y no llegar al solape de tareas.

Para la elaboración de este proyecto se han llevado a cabo distintas etapas, con sus diferentes metodologías de trabajo: la implantación de una red de bases, una nivelación, un levantamiento GNSS estático, un levantamiento taquimétrico, un escaneado de la pista, un vuelo dron y los distintos replanteos. Cada uno de esos pasos tienen su importancia, ya que, si un paso falla en el proceso, repercutirá en la calidad de la obra. Por eso las comprobaciones realizadas en cada una de las etapas han sido muy importantes.

La implantación de la red de bases se ejecutó con éxito en los tiempos previstos y conllevó a la realización de la nivelación y después del levantamiento GNSS estático. Estas dos etapas han resultado satisfactorias dándonos los resultados esperados.

El levantamiento taquimétrico fue también favorable, aunque, en gabinete se tuvo que ajustar un poco debido a que existían puntos muy poligonales en las curvas. Los puntos que se han ajustado situados en las curvas. Esto es debido a que, a la hora de la toma de datos, el espacio entre los puntos era demasiado grande. Para evitarnos el trabajo en gabinete hubiera estado bien en vez de tomar en curva cada 5 metros, tomar cada 2-3 metros.

El escaneado de la pista, aunque lo haya realizado una empresa subcontratada, se ejecutó bien. Esta experiencia me ha enseñado que, aunque el trabajo lo realice otras personas que saben lo que hacen, es importante realizar con ellos alguna prueba para que puedas comprobar y entender tu mismo los datos obtenidos. De esta forma, te aseguras que obtienes los resultados deseados, y en caso contrario, ser capaz de imponerte para cambiar la metodología de trabajo.

El vuelo dron se realizó correctamente, y la resolución obtenida en los resultados era más que suficiente para el uso que se iba a usar la ortofoto.

Los replanteos en campo eran la parte más laboriosa pero también la más importante. En esta última etapa, no se tiene derecho al error cuando sabes que una máquina viene para ejecutar lo que has puesto en campo. Era de suma importancia ir con calma, y

entender lo que se iba a escribir sobre la pista. Nuevamente, antes de replantear unos datos, es útil comunicarse con la persona que va a seguir lo que has marcado. En este proyecto, se han tenido muchas charlas con el fresador para poder llegar a un acuerdo e indicarle todos los datos necesarios, pero de una forma que le sea intuitiva y fácil de seguir para de esta forma evitar errores. Repitiendo lo anteriormente dicho, la comunicación entre las personas que ejecutan la obra es fundamental.

Por fin, el resultado de la renovación de la pista ha sido exitosa cumpliendo con las expectativas deseadas y deseando que se realicen las próximas carreras para observar el trabajo realizado en “acción”.

Bibliografía

ACG DRONE, *Fotogrametría aérea con drones* <<https://acgdrone.com/fotogrametria-aerea-con-drones/>> [Consulta: 22 agosto 2023]

BERNÉ VALERO, J.L, GARRIDO VILLEN, N, CAPILLA ROMÁ, R. (2019). “Sistemas GNSS.GPS” en *GNSS: GPS, Galileo, Glonass, Beidou. Fundamentos y métodos de posicionamiento*. Valencia: Universitat Politècnica de València

GENERALITAT VALENCIA, CIRCUIT RICARDO TORMO. *Historia* <<https://www.circuitricardotormo.com/circuito/historia/>> [Consulta: 1 de agosto 2023]

LERMA GARCÍA. J.L, BIOSCA TARONGERS. M.B. *Teoría y práctica del Escaneado Láser Terrestre*, http://jllerma.webs.upv.es/pdfs/Leonardo_Tutorial_Final_vers5_SPANISH.pdf> [Consulta: 20 de agosto 2023]

Cartografía

Plano de Situación y Emplazamiento:

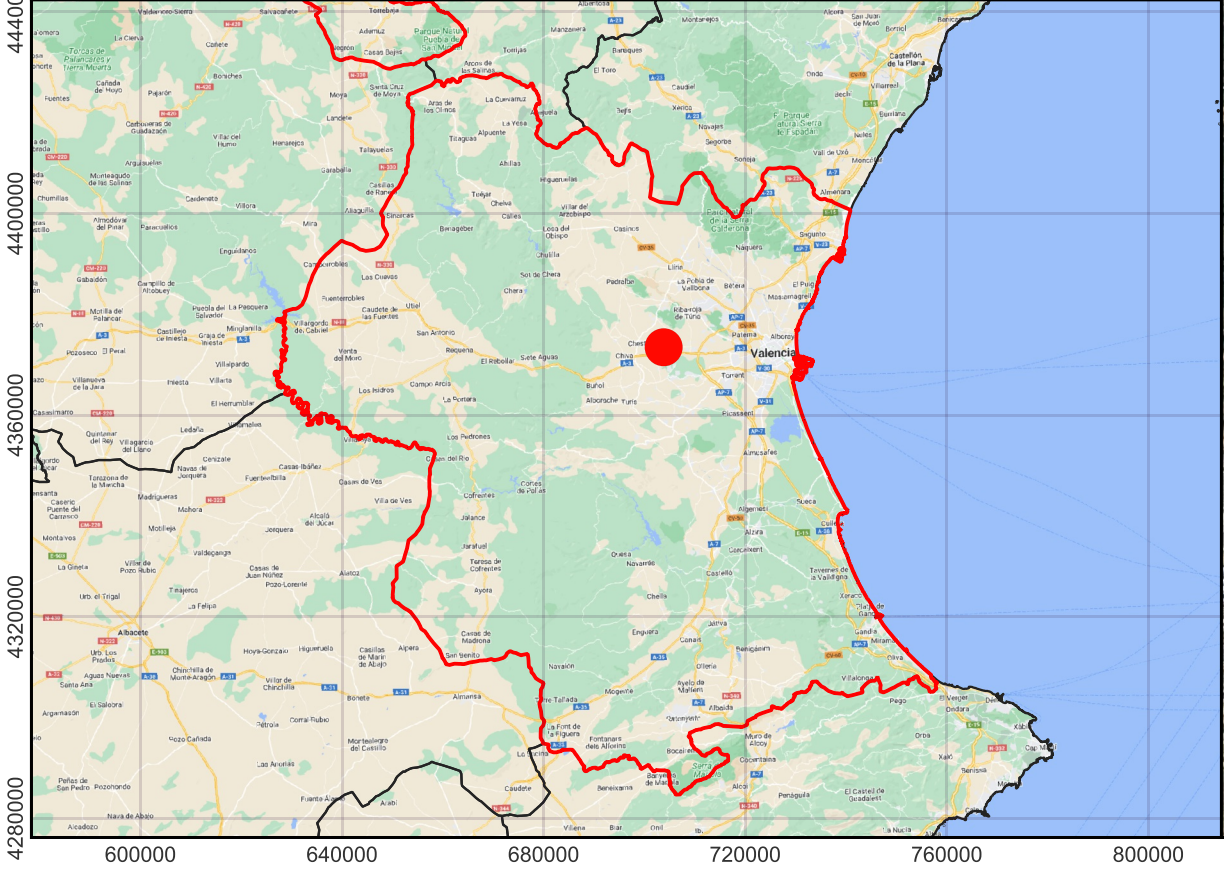
Representa la vista general de la ubicación del proyecto. Tiene una escala de 1:15000 con un formato A3. Las otras vistas de la izquierda son a escalas más pequeñas para representar el emplazamiento a nivel provincial y nacional.

Plano de Localización de las bases de referencia:

Representa la totalidad de las bases de referencia instaladas en el proyecto con sus coordenadas X e Y usadas durante la obra. Con una escala de 1:5000 en tamaño A3.

Plano de cota de las bases de referencia:

Representa las cotas de las bases de referencia utilizadas durante la realización de la obra. Con una escala de 1:5000 en tamaño A3.



	<p>AUTOR: Pablo Bigorne Falomir</p> <p>NOMBRE DEL PLANO: Plano de Situación y Emplazamiento</p>	<p>TÍTULO: Renovación de la pavimentación principal del autódromo Ricardo Tormo de Ceste: Toma de datos topográficos con alta precisión</p>	<p>Sistema de coordenadas: ETRS89 / UTM zone 30N</p> <p>Proyección: Universal Transverse Mercator (UTM)</p> <p>Datum: ETRS 1989</p> <p>Fecha: 31/08/2023</p>	<p>ESCALA: 1:15 000</p> <p>0 250 500 m</p>	
--	---	--	--	--	--



Coordenadas de las Bases de Referencia					
BASE	X	Y	BASE	X	Y
1	704095,394	4373369,846	25	703706,501	4373449,21
2	704149,412	4373438,929	26	703762,317	4373514,55
3	704151,829	4373514,923	27	703805,017	4373467,48
4	704117,631	4373593,194	28	703775,998	4373384,43
5	704082,006	4373673,252	29	703734,241	4373310,86
6	704033,118	4373752,984	30	703682,485	4373249,79
7	703968,933	4373717,937	31	703596,58	4373214,19
8	703972,118	4373638,621	32	703517,006	4373199,71
9	703997,178	4373568,359	33	703452,794	4373148,27
10	704056,01	4373521,475	34	703393,349	4373080,71
11	704028,045	4373451,125	35	703377,741	4373003,8
12	703974,302	4373396,2	36	703405,739	4372941,14
13	703907,285	4373436,527	37	703470,298	4372930,73
14	703904,7	4373509,093	38	703544,449	4372959,13
15	703903,047	4373589,918	39	703597,831	4373006,2
16	703864,522	4373662,167	40	703659,306	4373049,83
17	703782,423	4373639,021	41	703718,488	4373093,19
18	703710,715	4373587,709	42	703773,641	4373134,52
19	703634,594	4373533,311	43	703830,572	4373176,26
20	703582,803	4373464,678	44	703887,531	4373217,85
21	703529,067	4373395,691	45	703944,325	4373259,34
22	703518,579	4373312,832	46	704006,97	4373304,65
23	703599,808	4373307,448	47	704044,004	4373351,64
24	703671,475	4373364,837			

703000

703500

704000

704500

<p>ESCUOLA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA GEODÉSICA CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</p>	<p>AUTOR: Pablo Bigorne Falomir</p>	<p>TÍTULO: Renovación de la pavimentación principal del autódromo ricardo tormo de cheste: Toma de datos topográficos con alta precisión</p>	<p>Sistema de coordenadas: ETRS89 / UTM zone 30N</p>	<p>ESCALA: 1:5000</p>	<p>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</p>
	<p>NOMBRE DEL PLANO: Plano de localización de las bases de referencia</p>		<p>Proyección: Universal Transverse Mercator (UTM)</p> <p>Datum: ETRS 1989</p> <p>Fecha: 31/08/2023</p>		



Cota de las Bases			
BASE	Z	BASE	Z
1	145,778	25	154,74
2	144,511	26	154,29
3	145,232	27	152,69
4	146,604	28	152,32
5	148,046	29	152,33
6	149,228	30	153,91
7	150,858	31	157,42
8	149,772	32	161,57
9	148,843	33	163,69
10	147,673	34	164,19
11	146,345	35	162,53
12	147,647	36	159,18
13	148,175	37	155,74
14	149,556	38	155,11
15	151,538	39	154,9
16	153,614	40	153,87
17	156,601	41	152,74
18	158,208	42	151,73
19	159,968	43	150,68
20	160,828	44	149,61
21	161,844	45	148,55
22	160,794	46	147,4
23	156,687	47	146,78
24	154,758		

703000


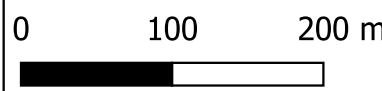

703500

704000

704500

4373000

4373000

 <p>ESCUOLA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA GEODÉSICA CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</p>	<p>AUTOR: Pablo Bigorne Falomir</p>	<p>TÍTULO: Renovación de la pavimentación principal del autódromo ricardo tormo de cheste: Toma de datos topográficos con alta precisión</p>	<p>Sistema de coordenadas: ETRS89 / UTM zone 30N</p>	<p>ESCALA: 1:5000</p> 	 <p>UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA</p>
	<p>NOMBRE DEL PLANO: Plano de cota de las bases de referencia</p>		<p>Proyección: Universal Transverse Mercator (UTM)</p> <p>Datum: ETRS 1989</p> <p>Fecha: 31/08/2023</p>		