



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR  
DE INGENIERÍA GEODÉSICA  
CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA

**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA**  
**E.T.S.I. GEODÉSICA, CARTOGRÁFICA Y TOPOGRÁFICA**

# **METODOLOGÍA DEL LEVANTAMIENTO EN 3D DE UN PUENTE CON LÁSER ESCÁNER**

**TRABAJO FINAL DE GRADO EN INGENIERÍA EN GEOMÁTICA Y  
TOPOGRAFÍA**

**AUTOR: Guillermo Javier Jordá Iranzo**

**TUTOR: Ramón Pons Crespo**

**CURSO ACADÉMICO 2017/2018**

**VALENCIA, SEPTIEMBRE DE 2018**



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 entrecomillado y citado su origen en el texto, así como referenciado en la bibliografía"

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA**

**-Septiembre 2018-**



## AGRADECIMIENTOS

Agradecer en primer lugar al profesorado de la ETSIGCT por los conocimientos que nos han transmitido a lo largo de estos cuatro años de Grado. Sin su esfuerzo e interés habría sido imposible sacar adelante las asignaturas en una situación desfavorable como la que atraviesa el mundo de la topografía recientemente.

Especial mención a todos ellos que siempre tratan de conseguir más prácticas para los alumnos, más visitas a instituciones y a centros empresariales relacionados con nuestra rama de conocimiento, y que hacen lo imposible por lograr captar la atención y el entusiasmo de sus (despistados) pupilos.

A la asociación IAESTE para prácticas en el extranjero, de la cual estoy orgulloso de haber formado parte como delegado en mi facultad, y cuyos miembros siempre nos hemos brindado ánimos mutuamente para salir de la zona de confort y buscar nuevas experiencias ahí fuera.

Para el final dejo lo más importante. Agradecer a mi familia por proveerme de cariño y comodidades para poder sacar adelante mis estudios, sin ellos este camino hubiera sido sin duda mucho más tedioso de recorrer.

Y por último, a mi pareja, a quien conocí en esta escuela. Con ella he compartido los mejores y los peores momentos que brinda la vida universitaria. Sin ella probablemente mis resultados habrían sido mejores, pero también más aburridos de conseguir.



## RESUMEN

Este proyecto consiste en el levantamiento con láser escáner de un puente en la localidad de Boquerón, en Chiriquí (Panamá).

Se obtendrá información en 3D del puente para utilizarlo como modelo en la construcción de uno nuevo, a su lado, con las mismas características. Además, se realizará un levantamiento mediante topografía clásica con estación total y GPS de la cuenca del río, realizándose secciones transversales del cauce, para estudiar las crecidas del río en el futuro.

Los resultados que se exigen son planos topográficos y altimétricos de la cuenca y de la carretera que atraviesa los puentes, planos de secciones transversales y longitudinales de los puentes, y también un modelo en 3D del puente nuevo.

**Palabras clave:** Láser-Escáner, Topografía, Construcción, nube de puntos, modelo 3D, puente, estación total, GPS, levantamiento, carretera Panamericana, cuenca

## ABSTRACT

This project consists in the surveying of a bridge using laser scanning, in the region of Boquerón, in Chiriquí (Panama).

It will be obtained 3D information of the bridge to use it as a model in the construction of a new one, next to it, with the same characteristics. In addition, a survey of the river basin will be carried out using classical topography with total station and GPS, making cross sections of the river basin, to study the floods in the future.

The results that are required are topographic and altimetric maps of the river basin and the road that crosses the bridges, planes of longitudinal and cross sections of the bridges, and also a 3D model of the new bridge.

**Keywords:** Laser-Scanner, Topography, Construction, point cloud, 3D model, bridge, total station, GPS, survey, Pan-American Highway, river basin



# CONTENIDO

<b>1. MEMORIA</b> .....	10
<b>1.1 Introducción</b> .....	10
<b>1.2 Objetivos</b> .....	14
<b>1.3 Instrumental</b> .....	17
<b>1.4 Planteamiento del levantamiento</b> .....	18
<b>1.5 Toma de datos en campo</b> .....	19
<b>1.6 Proceso de levantamiento con escáner</b> .....	25
1.6.1 <i>Sistema de coordenadas de referencia</i> .....	25
1.6.2 <i>Estacionamiento del láser escáner</i> .....	26
1.6.3 <i>Dianas / targets</i> .....	27
1.6.4 <i>Condiciones atmosféricas y de entorno</i> .....	28
<b>1.7 Procesamiento de los datos</b> .....	30
1.7.1 <i>Registro</i> .....	30
1.7.2 <i>Depuración del modelo</i> .....	35
<b>1.8 presentación de los datos</b> .....	35
1.8.1 <i>Software cad</i> .....	35
1.8.2 <i>Seccionar la nube para los planos de secciones</i> .....	35
1.8.3 <i>Creación de la animación de la nube de puntos</i> .....	36
<b>2. PRESUPUESTO</b> .....	38
<b>3. CONCLUSIONES</b> .....	40
<b>4. PLANOS</b> .....	41
<b>5. ANEJOS</b> .....	44
5.1 <i>Instructivo de puentes</i> .....	44
5.2 <i>Listado de códigos</i> .....	44
6.3 <i>Especificaciones tecnicas Leica Scanstation p20</i> .....	46
<b>6. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	47



# 1. MEMORIA

## 1.1 Introducción

El proyecto que se va a llevar a cabo consiste en el levantamiento en 3D de los puentes que cruzan el Río Chico, en la localidad de Boquerón (provincia de Chiriquí, Panamá).

Están construidos en un tramo de la carretera Panamericana que cruza dicho río. Este paso está constituido por dos puentes, uno por cada sentido.

Es reseñable que, dada la fama del arroyo Piedra que confluye con el río aguas arriba del puente, a este tramo también se le llama Río Piedra, pero en este trabajo se hará referencia a él con su verdadero nombre, Río Chico.

### Antecedentes de la carretera Panamericana.

*En 1889, en la Primera Conferencia Internacional de Estados Americanos, el gobierno norteamericano propuso la construcción de una autovía que estrechase lazos entre los vecinos del continente. Pero no fue hasta 1929 que se aprobó la propuesta y comenzó a ejecutarse.*

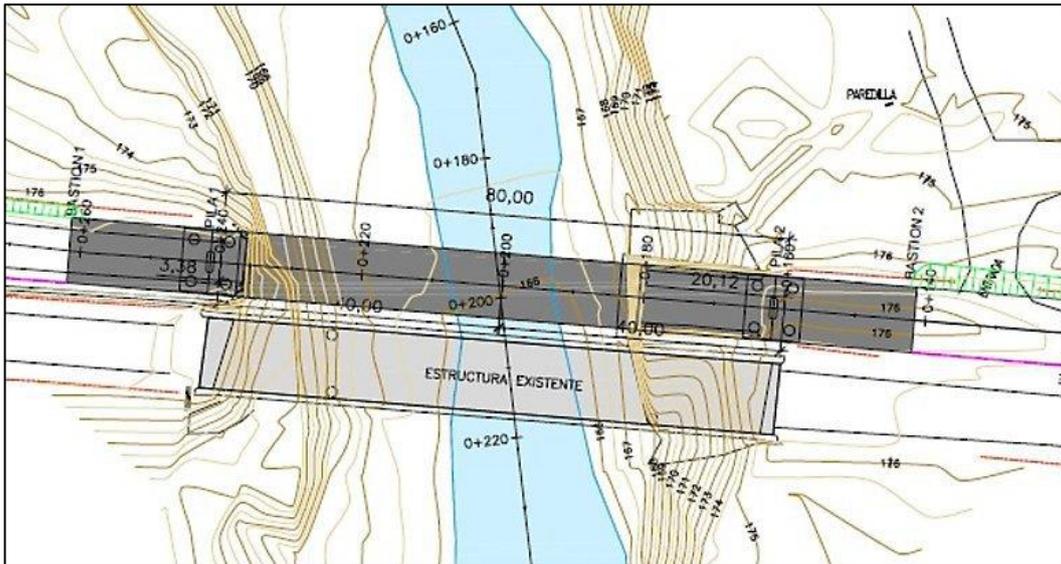
*A pesar de que oficialmente, la Panamericana no atravesaba Norteamérica, sino que discurría entre México y Argentina, la financiación del gobierno norteamericano fue crucial para el desarrollo de la misma. Durante su creación, hubo guerras, falta de dinero y de liderazgo, pero a día de hoy se ha consolidado como la carretera más larga del mundo.*

### Colapso del puente.

A fecha 2 de octubre del 2011, el primero de los puentes se derrumbó a causa de una crecida del caudal del agua que afectó a la estructura y que terminó colapsando.

La carretera en sentido a Bugaba quedó cortada.

En la figura inferior, se puede apreciar el puente colapsado en una tonalidad más oscura que la estructura que evitó el desastre.



En el año 2014 se alzó el nuevo puente, con un diseño que evitaba el contacto de sus fundamentos con el espacio potencialmente inundable, y de esta forma se eliminaron los problemas asociados a las crecidas del agua.

En la siguiente imagen se muestra las tareas de construcción del nuevo puente durante el año 2014.



El Río Chico es considerado uno de los ríos más peligrosos del país por las catastróficas consecuencias que genera en la población cada vez que aumenta el caudal.

En la siguiente fotografía se puede apreciar cómo es capaz de destruir los muros de retención que protegen los apoyos del puente recién construido.



El diseño del nuevo puente requirió de un gran arco que transmitiera los esfuerzos longitudinalmente a sus apoyos. Como consecuencia de ello, éste está elevado 3 metros respecto al puente antiguo que continúa en pie.

Esta situación no es la ideal en una vía por la cual transitan vehículos, y menos en la Panamericana donde circulan camiones de alto tonelaje para el transporte de mercancías. El motivo es la seguridad, puesto que, si un vehículo se precipitase del puente más alto, al caer sobre la calzada del contiguo podría agravar la situación al involucrar a los vehículos que circulan en sentido opuesto como puede interpretarse al observar las siguientes fotografías.



Como medida de prevención de futuras catástrofes ante las crecidas del río, que se han comprobado tan acusadas, el Ministerio de Obras Públicas de Panamá (MOP, de ahora en adelante) abrió la licitación para la sustitución del puente antiguo que aún se mantiene en pie, en sentido a David.

Además del levantamiento con láser escáner de los puentes, también se ha solicitado el levantamiento de los elementos relevantes de la zona adyacente al puente tales como aceras, postes, acequias, edificaciones, etc.

El motivo de la realización de este trabajo paralelo se debe, como así lo justifica el MOP en su pagina web, a los puntos que se enumeran a continuación:

- La contemplación de futuras mejoras en los accesos a la infraestructura
- Cartografiar zonas de riesgo de inundación en caso de que sea necesario reponer utilidades públicas o indemnizar bienes privados
- Estudios de impacto ambiental
- Estudio de seguridad de las barreras perimetrales del puente y la carretera
- Diseño de vías peatonales (aceras),
- Diseño de drenaje, etc.

La concesión de esta labor ha sido para una empresa panameña llamada Bagatrack S.A, quienes están especializados en la construcción de carreteras e infraestructura viales. Los diseños del proyecto han sido subcontratados por Ebase S.A, quienes además cuentan con su propio Instructivo de Puentes. Para el estudio topográfico previo de la infraestructura, Bagatrack ha contratado a Ingeniería Lucio Gálvez S.L.

La presente memoria trata expone el realizado por esta compañía en este proyecto.

## 1.2 Objetivos

La solicitud que se le hizo a la empresa de topografía requería de las siguientes acciones:

- Realizar secciones transversales de 100 metros de longitud por cada lado del centro del río, cada 20 metros desde el puente aguas arriba y aguas abajo hasta llegar a los 150 metros de distancia.  
Dos secciones más, una a los 200 y otra a los 300 metros desde el puente.  
El espaciado de los puntos en las secciones transversales depende del terreno, y del criterio del topógrafo de campo, para la correcta interpretación de la orografía.
- Levantamiento topográfico clásico de los elementos destacables (aceras, postes, cercados, etc.) hasta los 200 metros en cada sentido de circulación, partiendo del centro del puente.
- Ubicación de la presa aguas abajo, detalle de la corona y forma de entrada de desarenador con sus elevaciones.
- Levantamiento especial con láser escáner de ambos puentes.

Los resultados que exigen son:

- Levantamiento planimétrico en formato compatible con AutoCAD (\*.dwg).
- Levantamiento especial con láser escáner de los puentes.
- Levantamiento por secciones transversales del río y del terreno adyacente.

La siguiente figura indica el sentido de marcha de la corriente del río, donde aguas arriba se corresponde además con el norte geográfico en esa localidad.



A pesar de que se ha demandado un levantamiento especial con láser escáner de los puentes, el trabajo podría realizarse plenamente mediante topografía clásica utilizando sólo la estación total. La forma de proceder sería tomando puntos singulares de la estructura del puente, para después unirlos y vectorizar en AutoCAD el dibujo final.

Pero desde la constructora se ha optado por aumentar un poco el presupuesto y utilizar el láser escáner, lo que conlleva las siguientes ventajas:

- Rapidez en la captura de los datos. Puesto que en pocos minutos se registran millones de puntos.
- Posibilidad de generar modelos en 3D con textura real obtenida mediante fotografías de la superficie.
- Por lo general, dado la sencillez y rapidez en la toma de datos, se evita la problemática de haber olvidado tomar alguna parte del elemento a levantar y tener que volver otro día para su captura.

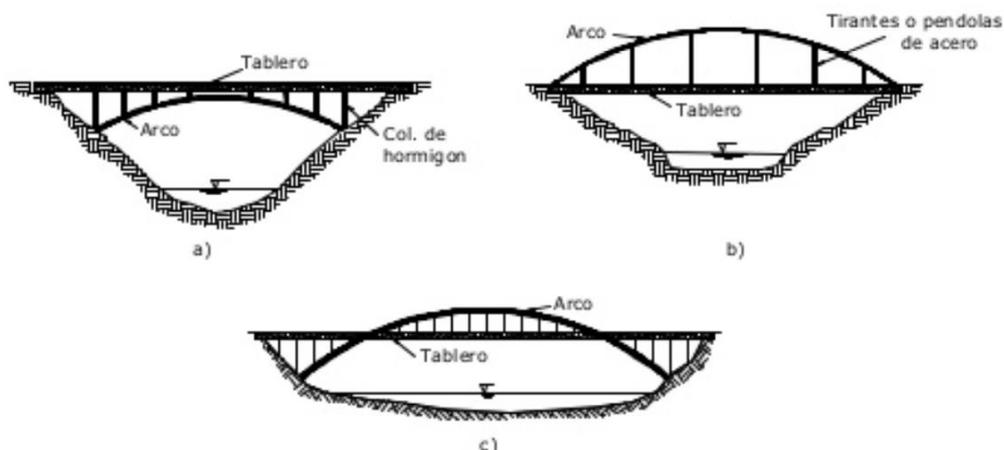
El escaneado de ambos puentes permite estudiar las diferencias de lo construido con lo que marca los planos de proyecto de la estructura, y así poder valorar no solo de forma visual en campo, si existen deformaciones o desplazamientos de las estructuras, la inclinación de los pilares, etc.

#### Información técnica del puente:

Repasando la tipología del puente de nueva construcción, podemos observar que se trata de un estilo constructivo en arco de tablero superior.

Los puentes de arco no cuentan con apoyos intermedios, puesto que tienen como finalidad superar el vano sin que exista elementos de la subestructura en dicho espacio, en el caso que se está tratando, para sortear el Río Chico. Normalmente son puentes de eje recto, pero también puede ser de eje curvo (muy empleado en antiguos puentes romanos).

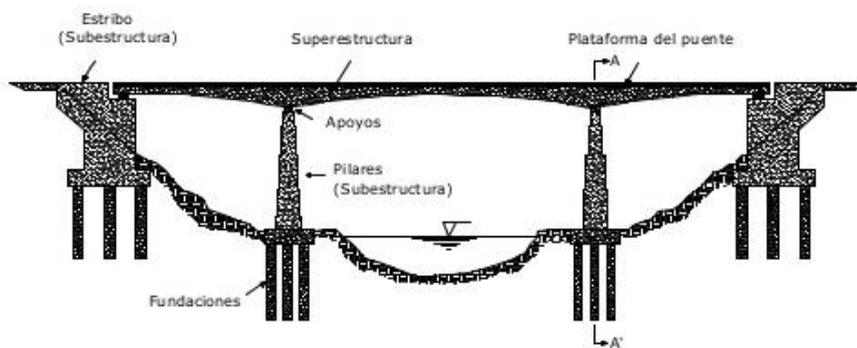
Según la situación del arco, se pueden clasificar como puentes de arco superior, inferior o intermedio (ver Figura nº).



En este caso, el arco trabaja por debajo del tablero, de ahí que se le llame también arco de tablero soportado.

Se sustenta sobre dos apoyos próximos a los estribos, con un radio de arco muy amplio. Esta geometría minimiza las cargas verticales, trasladándolas longitudinalmente a lo largo del eje hacia los apoyos, donde se transforma en un empuje horizontal y una carga vertical. Esta capacidad de trasferir esfuerzos horizontalmente en vez de hacia abajo, es lo que permite que tengan una esbeltez alta y que los esfuerzos horizontales sean mucho mayores que los verticales.

Este tiene una luz mayor al puente que colapsó en el 2011, a fin de evitar la colocación de ningún apoyo en el cauce del río. En las siguientes figuras (nºXX, y XX), se puede distinguir las diferentes partes de un puente de eje plano soportado por pilares, como el que se mantuvo en pie.



## 1.3 Instrumental

El láser escáner es un instrumento digital que obtiene datos masivos de carácter espacial a partir de averiguar la distancia y el ángulo en el que se encuentran los elementos de su entorno.

Emite un haz laser que describe un barrido angular vertical y horizontal, generando una matriz que se va completando con la información de los puntos donde rebota dicho haz.

Las variables que medibles son distancia e intensidad de retorno, puesto que la matriz de movimiento del emisor de luz no es una variable, sino que viene programada según las necesidades de precisión del operador del instrumento. Cuanto más fina sea el espaciado de la rejilla de dicha matriz (pasos de ángulo más pequeños), mayores precisiones se obtendrán.

Puesto que el número de filas por columnas es fijo dentro de una configuración de precisión determinada, la densidad de puntos que se reciba en el escáner depende de la distancia a la que se escanee el objeto. A mayor distancia, menor densidad de puntos y viceversa.

Las diferencias entre los equipos varían según:

- Velocidad de barrido
- Densidad de puntos
- Precisión y alcance
- Área de medición

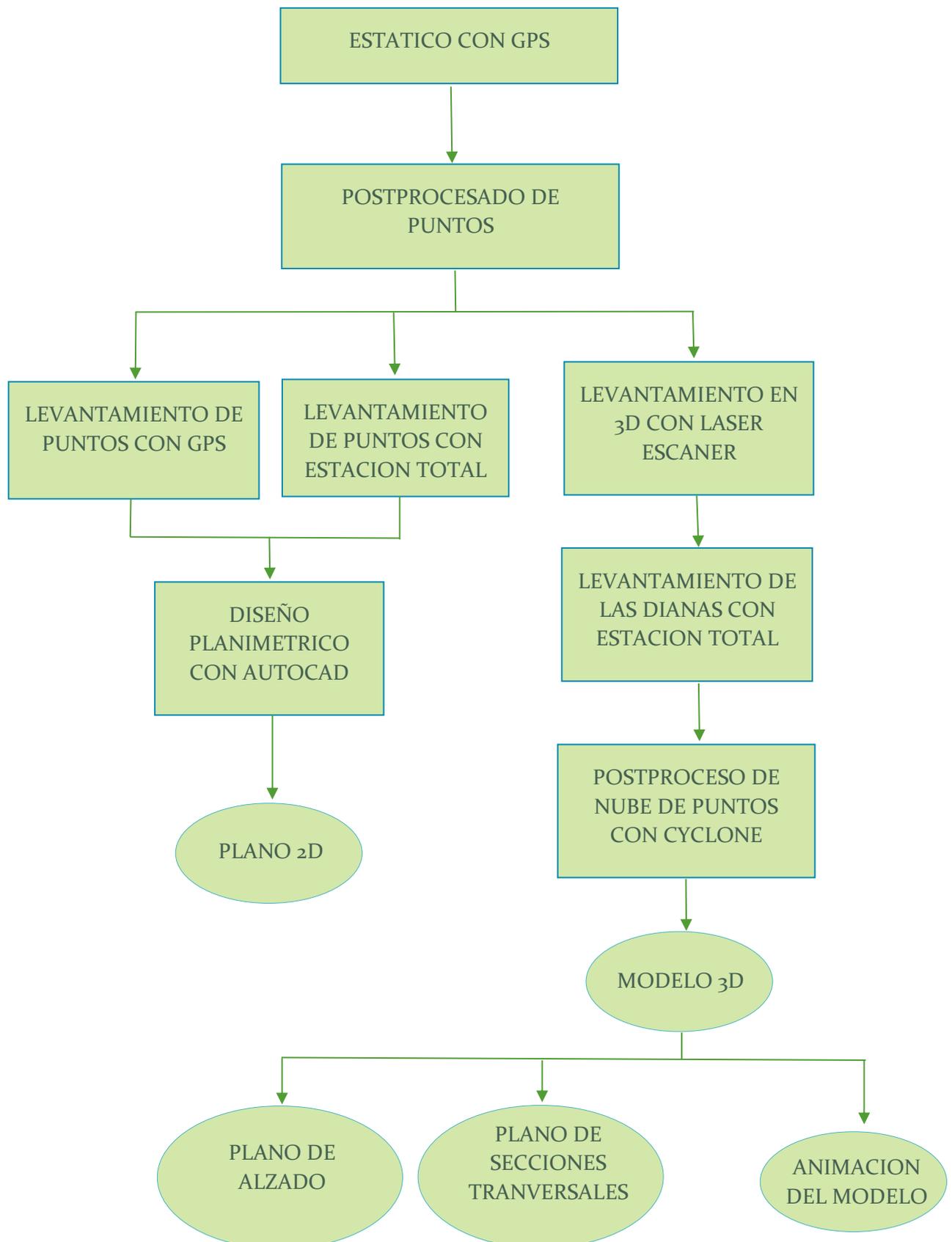
Existen tres tipos de sistemas de coordenadas empleados con láser escáner:

Sistema de coordenadas objeto: En este caso, es el objeto que vamos a levantar el que tiene asociado unas coordenadas locales. Se emplea sobre todo en producción industrial, naval, etc. El propio elemento que se escanea transmite la información espacial porque el origen de coordenadas lo define él mismo en su superficie.

Sistema de coordenadas instrumental: en este modo es como trabaja el láser escáner a no ser que se haya configurado posteriormente. Parte desde su posición origen  $(x,y,z=0,0,0)$  en el lugar donde está estacionado, e irá dotando de coordenadas locales (no absolutas o geográficas) a todos los puntos que vaya captando. Este método es el que se ha empleado para llevar a cabo este levantamiento.

Sistema de coordenadas absoluto: si se le introduce en el menú del aparato las coordenadas geográficas de su posición, éste puede trasladar las coordenadas a cada uno de los puntos medidos. Este método es más laborioso de emplear en campo, puesto que obliga a conocer de partida el punto donde se estaciona el escáner. Además, es susceptible de transmitir errores en el estacionamiento del instrumento, a toda la nube de puntos del proyecto.

## 1.4 Planteamiento del levantamiento



## 1.5 Toma de datos en campo

Las fechas que se relatan se corresponden al año 2017.

### 26 octubre

Para poder capturar información espacial en verdadera magnitud, primero es necesario enlazar el proyecto a algunos puntos de referencia geográficos, que han de tener una alta precisión puesto que el resto del levantamiento va a estar amarrado a ellos y arrastra los errores que estos contengan.

Se han tomado un par de puntos en los puentes, llamados P1 y P2 mediante un estacionamiento con base GPS a lo largo de 1 hora de observación en estático. Dichos puntos son tomados en los levantamientos como amarres a la Red Geodésica Nacional de CORS (más adelante se hablará acerca de esta Red). Son los puntos de mayor precisión de todo el levantamiento.

El tiempo necesario de observación puede basarse en lo recomendado según el (BIBLIOGRAFIA LIBRO GEODESIA ESPACIAL, PAGINA 257): *“Para la observación en estático, se emplean dos receptores GPS separados por una distancia que crea imaginariamente una recta que los une llamada “Línea Base”. Para distancias cortas (menores a 20 km) el tiempo de observación será aproximadamente de 1 hora.”*

Como ambos puntos de referencia que se han tomado están situados en el puente, se concluye que con 1 hora de observación en estático es suficiente.

Equipo → 1 topógrafo + 1 auxiliar de topografía

Instrumental → 2 Bases GPS

Duración → 1 jornada laboral completa

### 27 octubre

En gabinete se ha procesado la Línea Base definida por los puntos obtenidos el día anterior, y se corrige utilizando la Red Geodésica Nacional de Panamá CORS.

Para el postproceso se ha empleado el programa LEICA Geo Office.

Equipo → 1 técnico de gabinete

Instrumental → Software LEICA Geo Office

Duración → 1 jornada laboral completa

### 28 octubre

Utilizando P1 y P2 como referencias de alta precisión, se establece mediante estación total y prisma, una serie de “cambios” (Puntos de Cambio, o PC), que permiten arrastrar las coordenadas en verdadera magnitud y así poder levantar la estructura completa y también las secciones transversales del Rio Chico.

Se han levantado las secciones transversales al río exigidas, así como elementos del entorno que pueden ser de utilidad para futuros estudios.

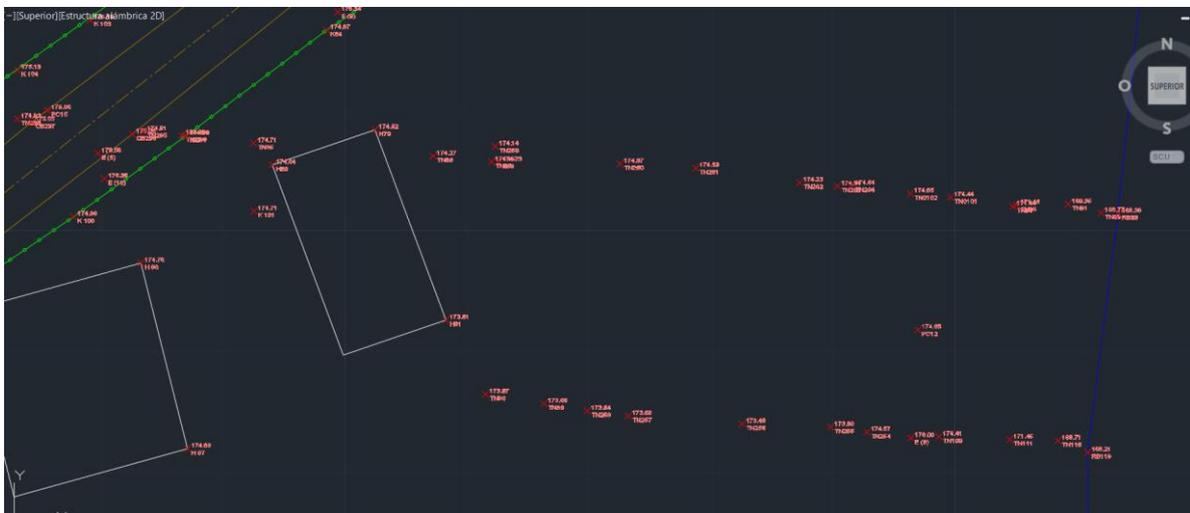
Las secciones se distribuyeron cada 20 metros desde los puentes, en ambos sentidos de la corriente. Esta división se realizó hasta llegar a los 150 metros. A partir de ahí, se ha tomado otra sección a los 50 metros (a 200m del puente). Y por último se ha dejado un espacio de 100m, y se ha tomado una última sección a los 300m.

Como se puede observar en la imagen inferior, los puntos perpendiculares al río están identificados con su código de terreno natural (TN) + ID del punto, acompañado de la altitud en metros. Esto le será de utilidad al MOP para realizar estudios de inundaciones.

Equipo → 1 topógrafo + 2 auxiliares de topografía

Instrumental → 1 Estación total

Duración → 1 jornada laboral completa



### 30 octubre

Levantamiento topográfico de la zona con GPS (base + móvil) y estación total.

El GPS aporta velocidad en los levantamientos, pero sólo puede emplearse en lugares con buena visibilidad satelital.

Se ha llevado a cabo el levantamiento de los estribos del puente (EST-nº), y se ha continuado levantando secciones transversales al eje del río.

Equipo → 2 topógrafos + 3 auxiliares de topografía

Instrumental → 1 GPS + 1 ET

Duración → 1 jornada laboral completa

### 31 octubre

Levantamiento topográfico de las secciones transversales al río.

Se realizó un trabajo similar al día previo, pero al otro lado del río, contrario a Bugaba.

También se levantaron acequias, calles, cercados, dotando a cada punto con información del código que le corresponde (ver AnejO, listado de códigos).

La labor de introducir un código específico para señalar cada tipo de elemento, pese a ralentizar un poco la toma de puntos, facilita mucho la tarea al técnico de laboratorio que gestionará toda esa información y que realizará los planos con AutoCAD.

Equipo → 1 topógrafo + 2 auxiliares de topografía

Instrumental → 1 Estación total

Duración → 1 jornada laboral completa

### 01 noviembre

Continuación del levantamiento de secciones transversales del río y de elementos representativos del terreno.

Tal y como se demandaba, se ha efectuado el levantamiento altimétrico de los puntos singulares de la presa aguas abajo, como se muestra en figura de abajo.

Equipo → 2 topógrafos + 4 auxiliares de topografía

Instrumental → 2 Estaciones totales

Duración → 1 jornada laboral completa



### 14 noviembre

Escaneado del puente con láser escáner y levantamiento de secciones transversales al río.

Equipo → 1 técnico de LS + 1 auxiliar de LS + 1 topógrafo + 2 auxiliares de topografía

Instrumental → 1 Laser escáner (LS) + 1 ET

Duración → 1 jornada laboral completa

### 15 noviembre

Procesado de las nubes de puntos en gabinete con LEICA Cyclone.

Equipo → 1 técnico de gabinete

Instrumental → Software LEICA Cyclone

Duración → 1 jornada laboral completa

### 16 noviembre

Procesado de las nubes de puntos en gabinete y generación de planos del trabajo.

Equipo → 1 técnico de gabinete

Instrumental → Software LEICA Cyclone + AutoCAD

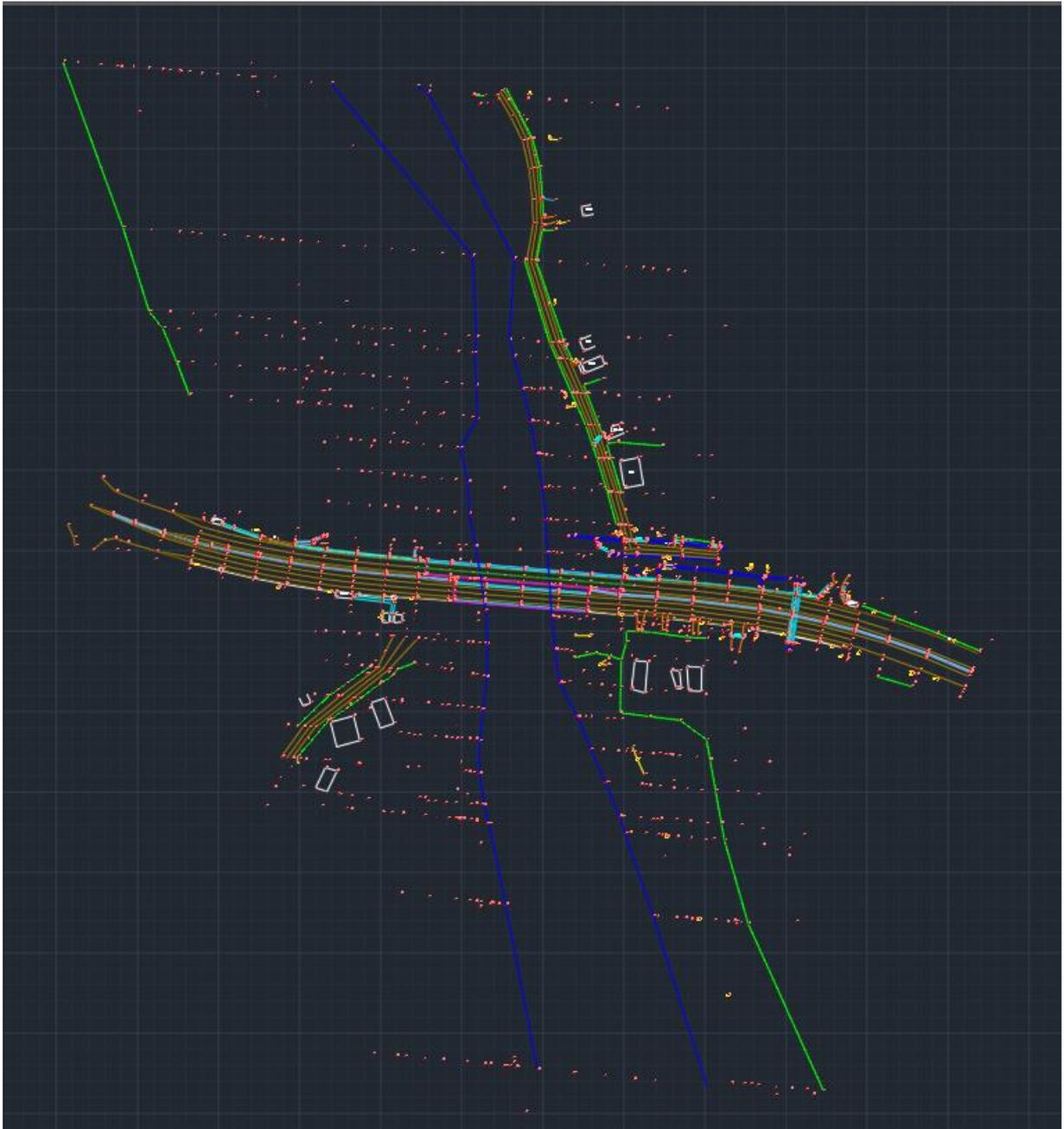
Duración → 1 jornada laboral completa

---

El resultado de los trabajos de topografía clásica y por GPS, es este plano donde se muestran las secciones del cauce de la efectuadas con estación total, representadas por aspas en color rojo.

Como se puede apreciar, también están representados todos aquellos elementos de interés por los motivos descritos anteriormente en la memoria: carreteras y caminos, edificaciones, servicios públicos como farolas, acequias, etc.

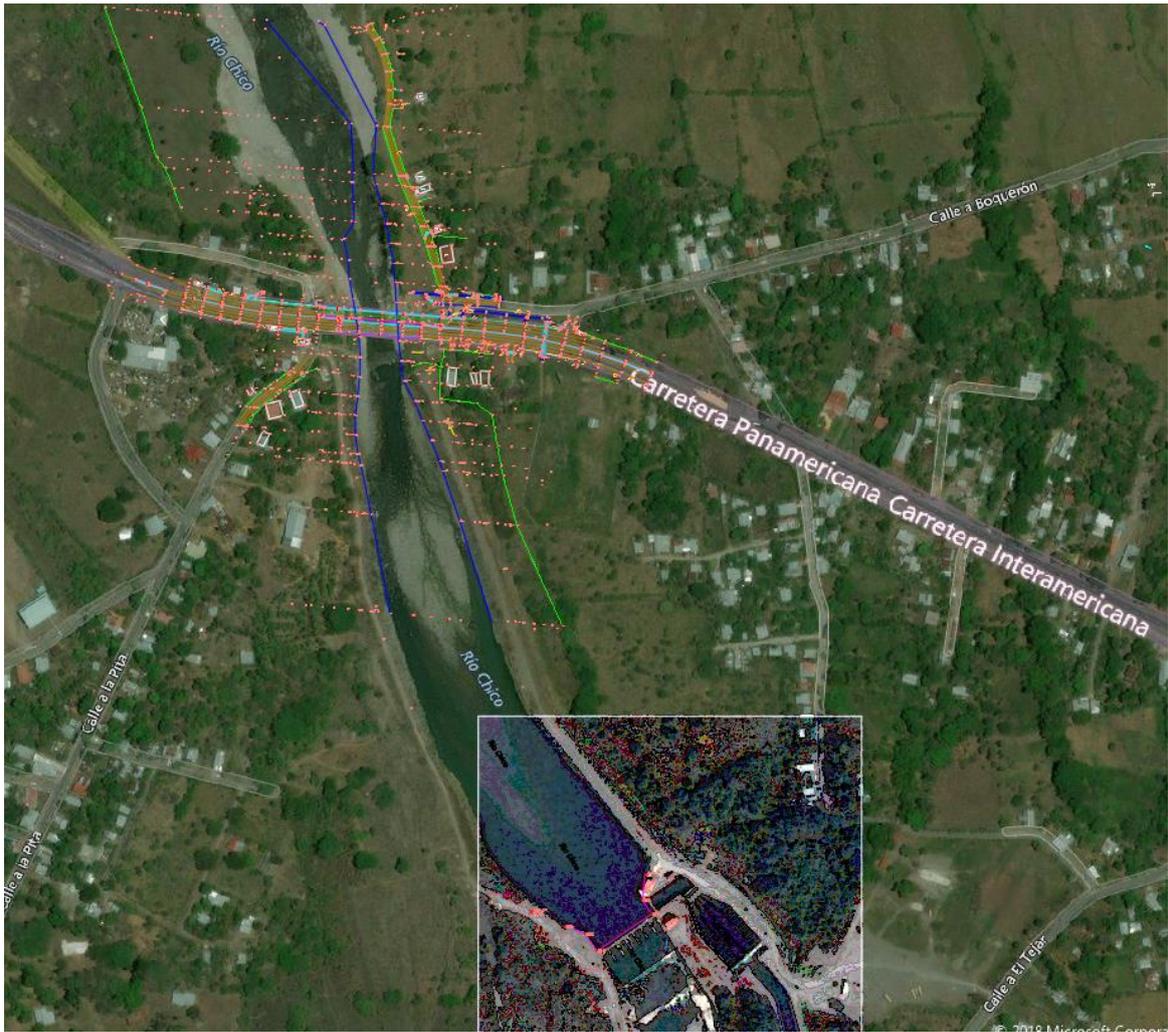
No se ha incluido ningún plano adjunto de este dibujo puesto que contiene demasiada información para plasmarse en un tamaño de impresión A3 como el resto de planos, manteniendo una resolución que permita apreciar toda la simbología correctamente.



En la figura inferior se muestra la ubicación de la presa con respecto a los puentes, y el trazado de la carretera panamericana a través de ellos.

La no coincidencia de la ortofoto con respecto a la información del levantamiento, corresponde a la antigüedad de la realización de la misma, puesto que como se ha comentado anteriormente, este río es muy cambiante y sus crecidas modifican el cauce de un año para otro.

---



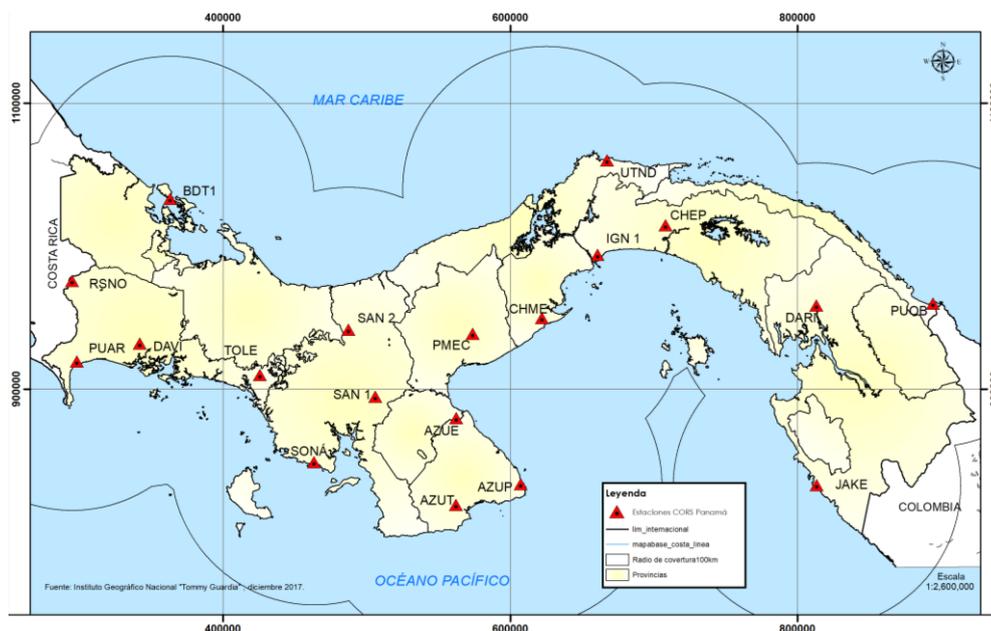
## 1.6 Proceso de levantamiento con escáner

### 1.6.1 Sistema de coordenadas de referencia

Se exige para la entrega de este trabajo, que toda la información espacial esté referenciada a la Red Geodésica Nacional CORS, que se integra dentro de la competencia del Instituto Geográfico Nacional “Tommy Guardia”.

La red CORS constituye una valiosa herramienta que facilita el posicionamiento de precisión y al mismo tiempo la inserción al marco de referencia geodésico vigente en el territorio panameño, el International Terrestrial Reference Frame 2008 – ITRF08.

Está constituida por un conjunto de equipos receptores de GNSS debidamente conectados entre sí a través de un servidor de Internet, y que son manejados por un software para el tratamiento y manipulación de la información recolectada.



Todo el levantamiento está por tanto amarrado a esta red geodésica de primer orden del Instituto Tommy Guardia, con DATUM WGS84, el cual corresponde al uso de los sistemas GPS empleados en ingeniería civil.

Se trata de un sistema de coordenadas geográficas mundial del año 1984 (revisado y actualizado), el cual emplea un elipsoide de referencia con tan solo 2 centímetros de error en los cálculos con respecto al geoide a nivel mundial; por este motivo es empleado por los sistemas GPS.

## 1.6.2 Estacionamiento del láser escáner

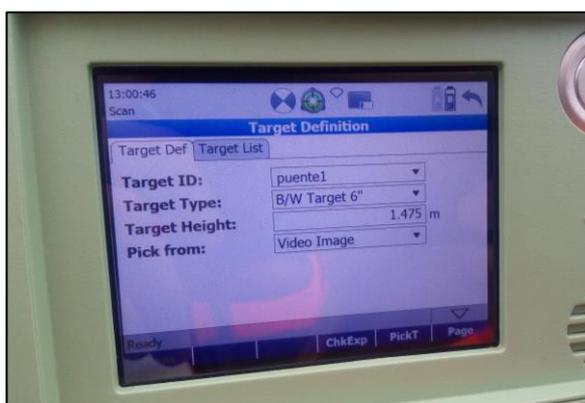
Con láser escáner lo más común es trabajar mediante estacionamientos libres, en puntos de los cuales no se conocen sus coordenadas. Esto aporta flexibilidad a la hora de ubicar el instrumento allá donde más visibilidad del entorno haya para realizar el escaneado. El resultado es una mayor rapidez, comodidad y facilidad en la configuración del aparato cada vez que se traslada de un lugar a otro. En este trabajo se ha estacionado el aparato en 14 lugares, tanto arriba como debajo del puente.

En topografía industrial donde se utiliza habitualmente el láser escáner, se suelen utilizar centrados forzados, al estacionar los instrumentos en vértices de hormigón de redes de alta precisión dentro de las naves industriales. Pero esta práctica sólo es ejercida por compañías que requieren mediciones extremadamente precisas y muy recurrentes con el escáner.

Una vez se ha estacionado el escáner sobre el trípode en el lugar escogido, se procede a calar la burbuja física ubicada en la parte alta del instrumento buscando primero la verticalidad con los tornillos del trípode para un ajuste general, y con las ruletas de la base nivelante después para afinar el calado con el apoyo de la burbuja digital del display.



Seleccionamos el modelo de diana, en nuestro caso: blanco y negro de 6 pulgadas de diámetro. Introducimos la altura a la que está colocada en el trípode en metros.



Configuramos el campo o rango de visión. Los parámetros aparecen en deg/degrees (grados sexagesimales).

Una vez se haya hecho el escaneado previo en imágenes, tenemos que ubicar el puntero en el centro de la diana, de este modo el fichero del escaneado guardará ese punto para el registro y unión de las nubes de puntos, será el lugar donde se asignen las coordenadas geográficas del listado que nos hayan pasado los topógrafos, cuando se importe con el programa Cyclone.



### 1.6.3 Dianas / targets

El sistema de dianas (o Targets en inglés) que se ha empleado es un conjunto de señal circular en blanco y negro, sujeta a un bastón (ver figura nº).

También se utilizan dianas de un solo color y con de materiales altamente reflectantes, muy diferente al resto de elementos que se suelen encontrar cuando realizamos un escaneado, como por ejemplo el color azul.



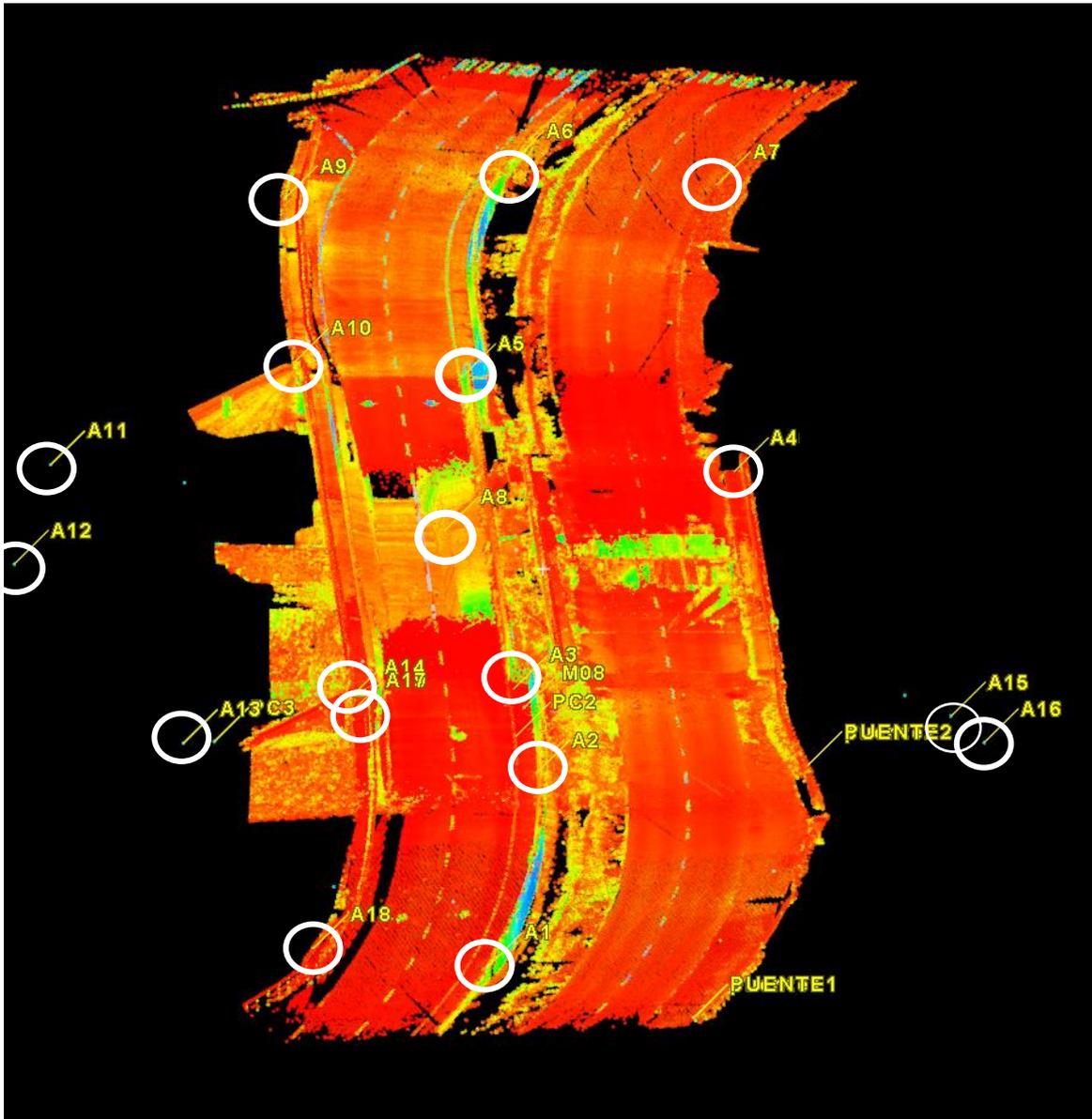
Cada clavo donde se ubica la diana lleva enganchado una cinta plástica azul de marcación, donde viene anotada la fecha del levantamiento, así como el número de identificación del punto.

Los puntos donde se colocaron las dianas tienen coordenadas desconocidas a priori, y así se asumió cuando se las escaneó. El identificador del punto (abreviado como "ID"), servirá para facilitar la gestión de las dianas con el programa Cyclone.

Posteriormente, un equipo de topógrafos con estación total y prisma, hicieron el levantamiento de los puntos con cinta azul donde se han colocado las dianas, para así obtener sus coordenadas geográficas relacionadas, como ya se ha mencionado, a la red geodésica CORS.

En los momentos de mayor tráfico en el puente, ha sido necesario que el auxiliar permaneciera atento para que el trípode no se cayera por las vibraciones del firme, y que la burbuja del bastón permaneciese calada en todo momento mientras funcionaba el escáner.

En la imagen inferior se puede observar la distribución de las dianas a lo largo de la construcción. La nomenclatura empleada es A + nº de identificador de punto.



#### 1.6.4 Condiciones atmosféricas y de entorno

Hubo un factor atmosférico determinante a la hora de realizar el levantamiento topográfico, las lluvias, que son abundantes por la posición casi ecuatorial del país.

A pesar de que el láser escáner tiene un nivel de protección frente al agua, que puede frenar las gotas de una pequeña llovizna, se recomienda no exponer el equipo a esta situación, además porque se podrían generar reflexiones del laser en la gota e introducir errores en el modelo de puntos.

Para evitarlo, fue necesario cubrir el instrumento con una funda impermeable que suministra la propia marca Leica. Si la lluvia es demasiado intensa, conviene directamente guardar el material en su caja protectora.



Como ya se ha mencionado, en Panamá las lluvias son repentinas y esto implica que toda ejecución de trabajos en el cauce del río tiene que hacerse con una previsión y fiabilidad tales que, ni durante periodo de lluvia, ni tan siquiera transcurridos varios días después, se permite bajar a realizar las mediciones. Siempre conviene dejar unos días de margen por si se derrumbara alguna presa aguas arriba debido a la acumulación de agua.

Ya se ha hablado de la importancia de la carretera Panamericana y de la intensidad de tráfico que discurre por ella. Como se puede apreciar en alguna imagen, no se cerraron los accesos al puente para realizar los trabajos, puesto que no hubiera habido posibilidad de desviar la circulación por encima del río por ningún otro lugar cercano. Se trabajó en todo momento con tráfico abierto, lo que generó situaciones de peligro hacia los trabajadores.

Por ello, se tuvieron que tomar ciertas medidas obligatorias de seguridad y prevención, como es el uso de chalecos reflectantes y casco.

La señalización del área de estacionamiento de los equipos mediante conos naranjas, de forma que alertase a los vehículos de que se estaban llevando a cabo trabajos de obra en la zona.



La presencia de camiones pesados generaba una serie de vibraciones tales que se tuvo que tomar la decisión de cortar el tráfico durante unos minutos. A pesar de que se trataba de una situación inesperada, el auxiliar de topografía indicó a los vehículos que circulaban en sentido a Bugaba ,que esperasen a cruzar el puente.



## 1.7 Procesamiento de los datos

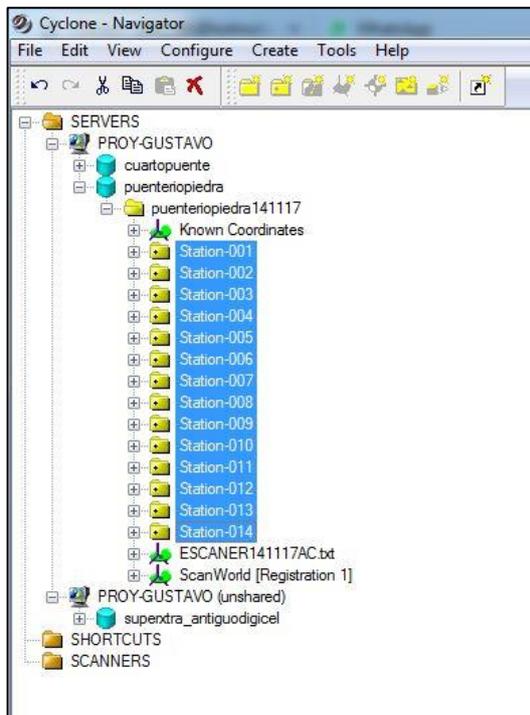
### 1.7.1 Registro

Para comenzar a trabajar con los escaneados, tendremos que realizar una conexión entre el la base de datos (database) que contiene los datos del escáner (tipo de archivo Cyclone DB, con extensión .imp) y el software Leica Cyclone.

El formato propietario de LEICA para sus databases es .imp, TRIMBLE utiliza .rwp, FARO usa .fls, y cada compañía se distingue con su propio formato.

Una vez se ha importado la database, se muestra ahora el proyecto creado en la pantalla de Cyclone Navigator con el nombre que hayamos decidido darle.

Desplegando el proyecto se observa cómo se han importado todas las estaciones del levantamiento con láser escáner (ScanStations).



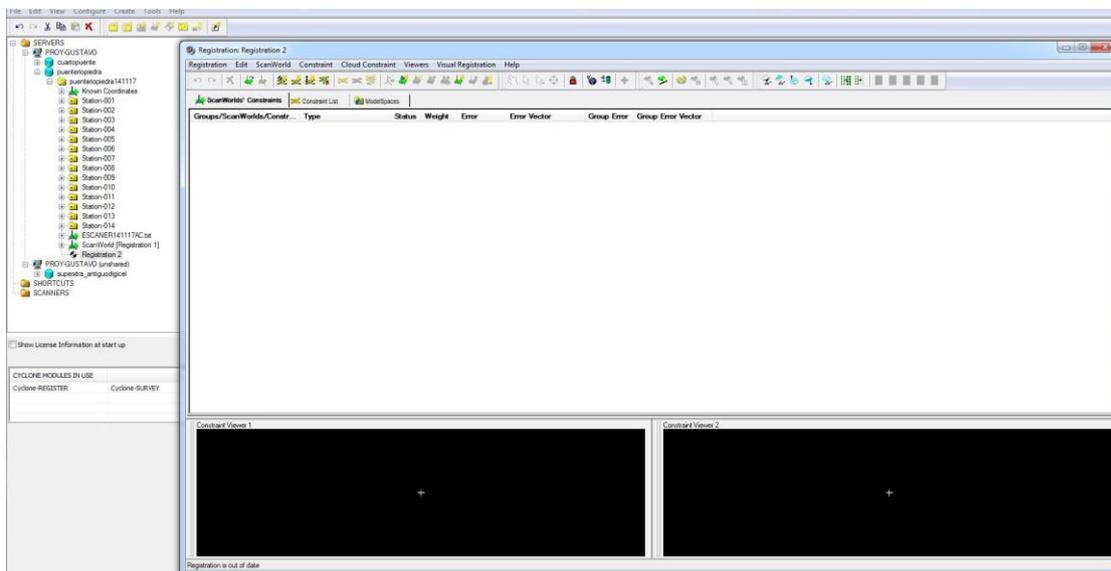
Si los desplegamos, encontraremos el dataset (fichero de proyecto) con todos los ScanWorlds, que son escaneos individuales en campo. Éstos no tienen orientación ni coordenadas asociados, además, tampoco están relacionados los unos con los otros. Podemos realizar visualizaciones de los mismos para saber si la captura tridimensional efectuada en campo ha recabado la información necesaria del entorno.

Cada ScanWorld está compuesto por 4 partes:

- Images contiene imágenes hechas por la cámara integrada del escáner que ayuda al ajuste del campo de visión del escáner.
- Scans contiene cada escaner por separado en datos RAW.
- ControlSpace y ModelSpace contienen la información con la que trabajar. ControlSpace contiene la información RAW del escaner. Se usa en todos los cálculos, como por ejemplo en el Registro. Un usuario no puede alterar directamente el ControlSpace, primero debe modificar el ModelSpace y entonces copiar los cambios al ControlSpace.
- ModelSpace es una captura en un instante del ControlSpace.. Es posible tener múltiples ModelSpaces de diferentes momentos de un mismo ControlSpace.

Haciendo click derecho sobre la carpeta proyecto (puenteriopiedra141117) se selecciona **Create → Registration/Create ScanWorld**. Aparece al final de la lista de estaciones, el nombre ScanWorld[Registration 1],

Si se hace doble click sobre él aparece una ventana de diálogo del Registration, en la que hay tres pestañas, que en ese momento están vacías:



- *ScanWorld's Constraints.* Aparecen los escaneos añadidos, donde uno de ellos aparecerá en negrita indicando que se tomará como referencia de coordenadas para realizar la unión con el resto de nubes de puntos.
- *Constraint List.* En este apartado y gestionan las dianas que se encuentren escaneadas por duplicado en los ScanWorlds cargados.

- *ModelSpaces*. Aquí se abrirán las ventanas gráficas que permitirán seleccionar los escaneos a unir dos a dos. Por cada ScanWorld se puede trabajar en un ControlSpace o en un ModelSpace. El primero se utilizaría si se han utilizado dianas (Constraints), y el segundo para puntos comunes (Cloud Constraint).

Como ya se ha mencionado, todas las dianas se midieron con estación total, esto automatiza el proceso de registro.

Existen varias técnicas para efectuar el Registro:

**Diana a diana (*target-to-target*)**. Utiliza elementos artificiales (dianas) colocados previamente al escaneado en el lugar. El objetivo es que al menos 3 dianas sean visibles desde dos escaneados diferentes y concatenados según el esquema de trabajo. De este modo, el programa ensamblará ambas nubes de puntos tomando estas 3 dianas como puntos singulares de coincidencia. Pero habitualmente, debido a que suelen aparecer obstáculos que dificultan la visibilidad entre escaneos, no todos los ScanWorlds podrán ser Registrados utilizando esta técnica.

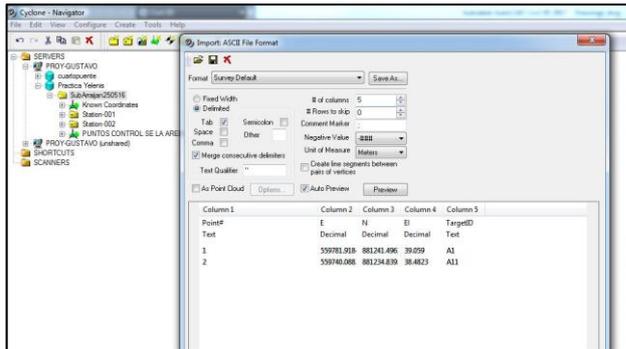
**Nube a nube (*cloud-to cloud*)**. Los puntos de ambas nubes son analizados por correlación, y se realiza un encaje de escaneados. Para poder realizar esta técnica, ha de existir suficiente superposición entre ambas nubes, y de esta forma reducir el error en el Registro.

**Registro manual**. Consiste en realizar una unión manual de lo que el operador del software interprete como puntos comunes mediante un análisis visual de ambas nubes. Los puntos que se escogen suelen ser esquinas, o elementos singulares que aporten unicidad. Se recomienda enlazar un mínimo de 4 puntos para que el Registro sea efectivo, aunque con 3 puntos podría ser válido si el error cometido no es excesivamente grande.

**Nube a Sistema de Coordenadas**. Otro método posible es utilizar la estación total para dotar de coordenadas en un sistema determinado a una misma diana que se pueda localizar desde dos ScanWorlds distintos. Este es el sistema que se ha empleado en este levantamiento.

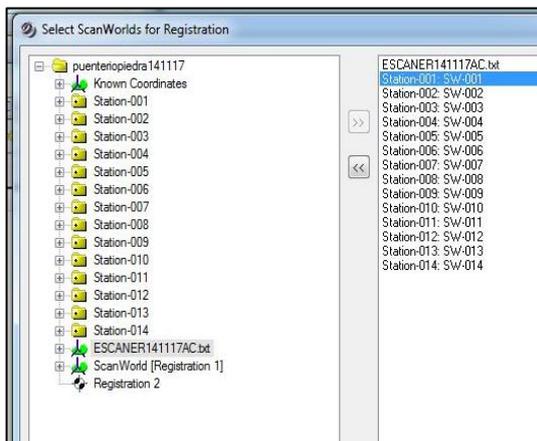
Antes de comenzar el Registro ha de importarse el listado de coordenadas de las dianas. Como el escáner reconoce el mismo código que se le dio a cada diana en campo, se utiliza para georeferenciar el escaneado completo. Es a partir de este momento que el modelo toma coordenadas reales. Se ha de importar el listado de coordenadas en formato de texto (\*.txt), el programa no reconoce el formato de EXCEL (\*.csv). Se tiene que tener presente el nombre o cabecera que se le ha dado al listado (TargetID, A1, A13...). Se han empleado 19 puntos de amarre.

La imagen inferior no forma parte de este proyecto, tan solo ilustra el proceso que se acaba de describir (*imagen propiedad del alumno*).



Cuando se ha importado este dataset desde un archivo ASCII/texto, se crea un nuevo ScanWorld en el navegador. Éste se compone de los mismos apartados que el resto de datasets de los ScanWorlds, pero dentro tan solo se encuentran los puntos de las dianas (19 en total) y sus etiquetas, en lugar de una nube de puntos.

Se ha de abrir la opción **ScanWorld** → **Add ScanWorld**, y a continuación se ha de colocar primero el archivo ESCANER141117AC.txt del listado de la estación total, debajo de esto las estaciones en el orden correcto, en este caso han sido 14.



El programa tiene que detectar de forma automática las diferentes dianas y sus correspondencias en cada uno de los ScanWorlds, de este modo es posible realizar un registro diana a diana. Dentro de la pestaña ConstraintList, se abre el desplegable **Constraint** → **Auto-Add-Constraint**. CYCLONE tratará de encontrar correspondencias entre las dianas artificiales considerando dónde estaban ubicadas en cada ScanWorld y su correspondiente etiquetado (*labelling*).

Este paso correlaciona las nubes de puntos mediante los puntos comunes (dianas) entre escaneados, para generar un único modelo unificado. El programa muestra una ventana con todas las uniones creadas, donde también aparece el número de constricciones erróneas o sin etiquetar, a partir de lo cual se puede concluir si existe algún error en las dianas que debiera ser revisado. Pero para que la columna de los errores se rellene, primero se ha de proceder a realizar el registro: **Registration** (menú) → **Register**.

Entonces aparecen los errores, que pueden ser ordenados según su tamaño, para así discernir qué uniones entre dianas los han originado. De este modo se puede analizar las constricciones.

Constraint ID	ScanWorld	Type	Status	Weight	Error	Error Vector	Group Error	Group				
401	Station-001 (ScanWorld)	Station-014 (ScanWorld)	Concoident	Velos	Velos	On	1.0000	0.011m	(0.071, 0.002, 0.002)m	n/a	n/a	Ungrupado
402	Station-006 (ScanWorld)	Station-015 (ScanWorld)	Concoident	Velos	Velos	On	1.0000	0.011m	(0.010, 0.000, 0.000)m	n/a	n/a	Ungrupado
403	ESCANER1411173C (ScanWorld)	Station-019 (ScanWorld)	Concoident	Velos	Velos	On	1.0000	0.011m	(0.008, 0.007, 0.002)m	n/a	n/a	Ungrupado
404	ESCANER1411173C (ScanWorld)	Station-019 (ScanWorld)	Concoident	Velos	Velos	On	1.0000	0.011m	(0.000, 0.000, 0.000)m	n/a	n/a	Ungrupado
405	Station-003 (ScanWorld)	Station-019 (ScanWorld)	Concoident	Velos	Velos	On	1.0000	0.010m	(0.008, 0.000, 0.007)m	n/a	n/a	Ungrupado
406	ESCANER1411173C (ScanWorld)	Station-007 (ScanWorld)	Concoident	Velos	Velos	On	1.0000	0.010m	(0.004, 0.003, 0.000)m	n/a	n/a	Ungrupado
407	ESCANER1411173C (ScanWorld)	Station-009 (ScanWorld)	Concoident	Velos	Velos	On	1.0000	0.010m	(0.001, 0.004, 0.004)m	n/a	n/a	Ungrupado
408	ESCANER1411173C (ScanWorld)	Station-014 (ScanWorld)	Concoident	Velos	Velos	On	1.0000	0.010m	(0.010, 0.000, 0.000)m	n/a	n/a	Ungrupado
409	Station-003 (ScanWorld)	Station-004 (ScanWorld)	Concoident	Velos	Velos	On	1.0000	0.010m	(0.008, 0.003, 0.000)m	n/a	n/a	Ungrupado
410	ESCANER1411173C (ScanWorld)	Station-007 (ScanWorld)	Concoident	Velos	Velos	On	1.0000	0.010m	(0.000, 0.007, 0.000)m	n/a	n/a	Ungrupado
411	Station-010 (ScanWorld)	Station-011 (ScanWorld)	Concoident	Velos	Velos	On	1.0000	0.010m	(0.001, 0.010, 0.001)m	n/a	n/a	Ungrupado
412	ESCANER1411173C (ScanWorld)	Station-011 (ScanWorld)	Concoident	Velos	Velos	On	1.0000	0.010m	(0.001, 0.000, 0.000)m	n/a	n/a	Ungrupado
413	Station-009 (ScanWorld)	Station-012 (ScanWorld)	Concoident	Velos	Velos	On	1.0000	0.009m	(0.007, 0.008, 0.007)m	n/a	n/a	Ungrupado
414	ESCANER1411173C (ScanWorld)	Station-010 (ScanWorld)	Concoident	Velos	Velos	On	1.0000	0.009m	(0.007, 0.002, 0.004)m	n/a	n/a	Ungrupado
415	Station-006 (ScanWorld)	Station-012 (ScanWorld)	Concoident	Velos	Velos	On	1.0000	0.009m	(0.000, 0.001, 0.000)m	n/a	n/a	Ungrupado
416	ESCANER1411173C (ScanWorld)	Station-005 (ScanWorld)	Concoident	Velos	Velos	On	1.0000	0.008m	(0.005, 0.004, 0.005)m	n/a	n/a	Ungrupado
417	ESCANER1411173C (ScanWorld)	Station-004 (ScanWorld)	Concoident	Velos	Velos	On	1.0000	0.008m	(0.000, 0.002, 0.000)m	n/a	n/a	Ungrupado
418	ESCANER1411173C (ScanWorld)	Station-012 (ScanWorld)	Concoident	Velos	Velos	On	1.0000	0.008m	(0.000, 0.000, 0.000)m	n/a	n/a	Ungrupado
419	Station-009 (ScanWorld)	Station-013 (ScanWorld)	Concoident	Velos	Velos	On	1.0000	0.008m	(0.000, 0.001, 0.001)m	n/a	n/a	Ungrupado
420	Station-013 (ScanWorld)	Station-014 (ScanWorld)	Concoident	Velos	Velos	On	1.0000	0.008m	(0.000, 0.000, 0.000)m	n/a	n/a	Ungrupado
421	ESCANER1411173C (ScanWorld)	Station-002 (ScanWorld)	Concoident	Velos	Velos	On	1.0000	0.008m	(0.000, 0.002, 0.000)m	n/a	n/a	Ungrupado
422	ESCANER1411173C (ScanWorld)	Station-014 (ScanWorld)	Concoident	Velos	Velos	On	1.0000	0.008m	(0.000, 0.000, 0.000)m	n/a	n/a	Ungrupado
423	Station-003 (ScanWorld)	Station-008 (ScanWorld)	Concoident	Velos	Velos	On	1.0000	0.008m	(0.006, 0.001, 0.006)m	n/a	n/a	Ungrupado
424	Station-003 (ScanWorld)	Station-002 (ScanWorld)	Concoident	Velos	Velos	On	1.0000	0.008m	(0.007, 0.001, 0.002)m	n/a	n/a	Ungrupado
425	ESCANER1411173C (ScanWorld)	Station-013 (ScanWorld)	Concoident	Velos	Velos	On	1.0000	0.007m	(0.001, 0.004, 0.005)m	n/a	n/a	Ungrupado
426	ESCANER1411173C (ScanWorld)	Station-013 (ScanWorld)	Concoident	Velos	Velos	On	1.0000	0.007m	(0.000, 0.001, 0.003)m	n/a	n/a	Ungrupado

Las constricciones polémicas dan una pista acerca de qué dianas están generando el error, con lo cual el próximo paso es desactivar estas dianas conflictivas y volver a realizar el registro: **Registration (menú) → Register**.

Lo más apropiado es corregir la posición de las dianas incorrectas, para ello se tendrá que eliminar el ScanWorld que contenga esa diana del proyecto de registro. Se realizará una inspección visual en cada ScanWorld que la contenga mediante: **Tools → Scanner → ScanWorld Explorer**.

Cuando se detecte una mala ubicación de la diana, se tendrá que eliminar del ControlSpace, y del ModelSpace. Entonces se tiene que volver a crear la target, primero en el ModelSpace, y copiarlo al ControlSpace (que es el que se tiene en cuenta para hacer el registro). CYCLONE tiene una herramienta **Create Object → Fit to Cloud → Black/White Target**, que ajusta automáticamente el ID de la target en el centro de la diana. Una vez se haya resuelto este problema, se vuelve a generar las constricciones con **Constraint → Auto Add Constraints**, y también a realizar de nuevo el registro **Registration (menú) → Register**, y a valorar los errores mostrados.

Para optimizar el escaneado se puede hacer un constreñimiento de nube, lo cual quiere decir que se solapan nubes consecutivas para afinar la coincidencia de sus puntos comunes, no solo los centros de las dianas. **Cloud Constraint (menú) → Auto-Add Cloud Constraint**.

**Registration → Register**. El programa calcula los errores de encaje de las nubes de puntos, nos muestra los errores y el operario del software ha de valorar si son admisibles.

Una vez se hayan obtenido los resultados de errores medios admisibles, se puede congelar la nube de puntos y crear un nuevo ScanWorld de la siguiente forma: **Registration (menú) → Create ScanWorld / Freeze Registration** y **Registration → Create and Open ModelSpace** para crear un ModelSpace que contenga todas las nubes de puntos registradas sobre el que comenzar la depuración.

## 1.7.2 Depuración del modelo

# 1.8 presentación de los datos

## 1.8.1 Software cad

La generación de planos 2D partiendo de una nube de puntos ha de hacerse manualmente y mediante una interpretación del operador del software. La transición a 2D de la nube se logra utilizando herramientas básicas de programas CAD.

Las secciones transversales o longitudinales, planos topográficos y de elevaciones pueden ser generados a partir de segmentar el modelo en espacios con forma de rebanada, en la cual quedan comprendidos los puntos que se pretende reproyectar en otro plano, y así trazar sobre ellos las formas en 2D (líneas, arcos, áreas, etc.).

Esta es una tarea compleja que requiere del operador un gran conocimiento del elemento a representar, puesto que muchas veces la resolución de la nube de puntos no basta para una correcta representación en 2D. Es habitual el apoyo en fotografías tomadas en campo para la mejor interpretación de detalles del modelo, como puedan ser esquinas, recovecos, tuberías, etc.

La automatización de este proceso no produce unos resultados viables como para comercializarse de forma genérica para todo tipo de proyectos, pero en cambio sí pueden conseguirse herramientas adicionales de software que están enfocados a la automatización en la representación de elementos en entornos muy controlados, por ejemplo para trazar líneas de tuberías en una plataforma petrolífera.

Para comenzar a trabajar en esta dirección, primero se importan las nubes de puntos a AutoCAD (v.2014) con **Insert** → **Create PointCloud** → **archivo.pts**.

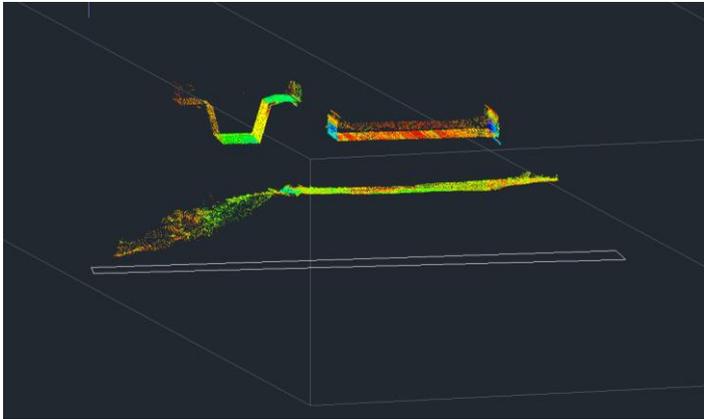
Si ya se ha salvado la nube con este programa, y se desea importar de nuevo, la opción a utilizar es **Attach**. Esta forma de llamar a la nube también se utiliza en las versiones más recientes de AutoCAD. El motivo es que Autodesk quiere aumentar el uso de su programa para gestión de nubes de puntos llamado Recap, el cual no trabaja con archivos de extensión \*.pts (el resultante al exportar con Cyclone). En su lugar emplea la extensión \*.rcs, esto obliga al usuario de Cyclone a realizar una conversión de formatos con el programa Recap para poder abrir el modelo con AutoCAD.

El siguiente paso es agrupar los puntos en una única capa, para así facilitar tareas como apagar y encender capa.

## 1.8.2 Seccionar la nube para los planos de secciones

Mediante la herramienta **Clipbox** se crea una ventana, que extrae secciones del conjunto de puntos como si se cortara un molde a rebanadas. El grosor de cada rebanada no ha de ser demasiado ancho puesto que no interesa que comprenda puntos ubicados a diferentes niveles de profundidad.

Se ha de ir variando la perspectiva del modelo y colocar la sección de forma que el observador pueda trazar correctamente la silueta sobre la nube de puntos. Esto se hace cambiando los ejes de referencia que utiliza el espacio de trabajo, el comando se llama UCS.



Para poder trazar longitudinalmente los elementos constructivos del puente ha de situar la sección de en vista de frente, para observar toda su longitud.

El trazo se compone de polilíneas (el comando tiene el mismo nombre), y los rellenos se forman con el comando Sombreado, para hormigón, grava, etc.

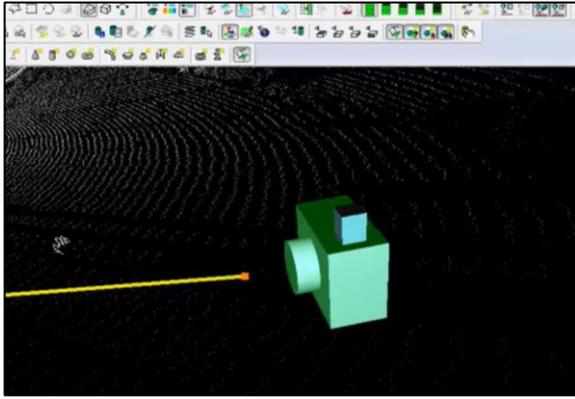
Haciendo uso del cambio de perspectivas que nos permite AutoCAD, se traza una línea superior en sentido longitudinal al puente donde se indica las distancias al origen con sus respectivos PK. Por ejemplo, PK+120 significa que es el lugar del puente que se encuentra a 120 metros desde el inicio del puente en uno de los extremos escogido aleatoriamente. Simplemente sirve como referencia en el avance a la hora de situar a dónde corresponde cada sección transversal, obtener pendientes, etc.

### 1.8.3 Creación de la animación de la nube de puntos

La entrega al cliente de una animación del modelo 3D resultante del levantamiento, siempre es bien acogida pese a que no entrar en las exigencias del proyecto.

CYCLONE cuenta con una herramienta de creación de animaciones, que hace este paso realmente rápido e intuitivo.

Lo primero que ha de hacerse es abrir el ModelSpace View con el modelo depurado y unificado. A continuación, ha de escogerse la perspectiva inicial donde se desea comenzar la animación, y una vez esté ajustado ha de insertarse el objeto llamado cámara con **Create Objects → Insert → Camera**.



El siguiente paso es muy natural, consiste en desplazar el modelo hacia la siguiente escena que se pretenda mostrar en la animación, y volver a insertar un objeto-cámara con la orientación deseada. Este proceso ha de repetirse hasta que se dé por concluido el recorrido de interés para el vídeo.

Se seleccionan las cámaras y se crea la ruta por donde discurrirán las escenas con **Tools** → **Animation** → **Create Path**, y en mismo menú → **Set Path**. Para seleccionar las características de la animación, de nuevo en el mismo menú → **Animation Editor**.

Nos permite configurar los fotogramas entre cada escena, entre otras variables, y elegir la carpeta de destino para guardar el vídeo-animación.

## 2. PRESUPUESTO

PERSONAL				
	DIAS	HORAS/DIA	COSTE/HORA	TOTAL
Topografo	8,00	8,00	7,00	448,00
Auxiliar	16,00	8,00	6,00	768,00
Técnico	4,00	8,00	8,00	256,00
				1472,00
EQUIPO				
	COSTE	VIDA (DIAS)	DIAS	TOTAL
Láser escan.P20	46000,00	3650,00	1,00	12,60
Estacion. Total	8000,00	3650,00	6,00	13,15
GPS	19000,00	3650,00	3,00	15,62
Prisma	380,00	5475,00	6,00	0,42
Jalón	200,00	5475,00	8,00	0,29
Tripode	350,00	5475,00	10,00	0,64
Diana	100,00	5475,00	1,00	0,02
PC	1000,00	1825,00	4,00	2,19
				44,93
SOFTWARE				
	COSTE	VIDA (DIAS)	DIAS	TOTAL
Leica GeoOffice	2000,00	365,00	1,00	5,48
L. Cyclone	2000,00	365,00	2,00	10,96
AutoCAD	4125,00	3650,00	1,00	1,13
				17,57
VEHICULO				
	COSTE	VIDA (DIAS)	DIAS	TOTAL
Toyota	25000,00	3650,00	14,00	95,89
Ford	20000,00	3650,00	14,00	76,71
Gasolina	1,30	5,00	28,00	182,00
				354,60

EQUIPO OTROS				
	COSTE	VIDA (DIAS)	DIAS	TOTAL
Machete	30,00	3650,00	1,00	0,01
Martillo	6,00	3650,00	4,00	0,01
Clavos	2,00			2,00
Spray	3,00			3,00
Cono tráfico	10,00	5475,00	5,00	0,01
				5,02
VESTIMENTA				
	COSTE	VIDA (DIAS)	DIAS	TOTAL
Botas	40,00	365,00	24,00	2,63
Casco	15,00	1460,00	24,00	0,25
Chaleco	8,00	1460,00	24,00	0,13
Guantes	5,00	360,00	24,00	0,33
				3,34
OFICINA				
	COSTE/MES	COSTE/DIA	DIAS	TOTAL
Limpieza	120,00	4,00	28,00	112,00
Agua+electricidad	100,00	3,33	28,00	93,33
Internet+teléfono	100,00	3,33	28,00	93,33
Alquiler	300,00	10,00	28,00	280,00
				578,67
			TOTAL=	2476,13

### 3. CONCLUSIONES

En cuanto al cumplimiento de los objetivos, se ha llevado con éxito todas las demandas que se hicieron desde la constructora, tanto los levantamientos clásicos de planimetría y altimetría, como la entrega del modelo 3D y los planos longitudinales y de alzado generados a partir de él.

La previsión de acontecimientos reflejada en el organigrama previo a la ejecución se ha cumplido sin contratiempos. En cualquier caso podría entenderse como dificultades, hechos como las repentinas lluvias durante las jornadas de campo, que obligaron a resguardar el instrumental temporalmente; o las vibraciones que generaron los vehículos al pasar sobre los puentes mientras se producía el escaneado, lo cual se resolvió indicando a los conductores que esperasen unos instantes a que terminara el proceso para reanudar la marcha.

En cuanto a las posibles mejoras que podrían efectuarse para este tipo de proyectos, se contempla el uso de drones dotados de cámaras de alta resolución. Un levantamiento fotogramétrico con dron liberaría de mucho trabajo a las cuadrillas de topógrafos que tienen que tomar puntos con estación total y prisma de los elementos singulares del mobiliario urbano. Contemplando el coste que tienen hoy en día los equipos de drones profesionales, se les puede sacar mucho partido en el mundo de la ingeniería civil para trabajos exteriores que no requieran de precisiones muy elevadas.

Las aportaciones a la sociedad que este proyecto ha llevado a cabo son muchas y de gran calado. La carretera panamericana es sin duda una de las vías rodadas más importantes del mundo, que sirve de nexo de unión entre el subcontinente sudamericano con el centro y norteamericano. Las mejoras en este puente representan de manera muy acertada el beneficio que va a suponer tanto a nivel local, como a nivel continental.

## 4. PLANOS

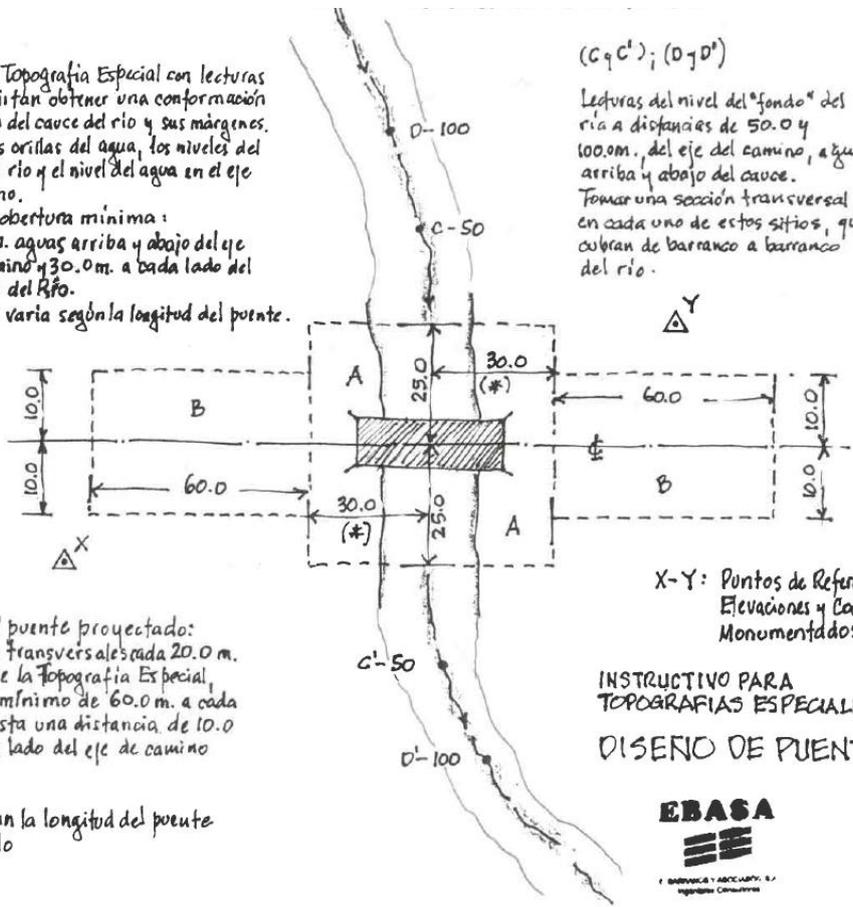




# 5. ANEJOS

## 5.1 INSTRUCTIVO DE Puentes

A.- Area de la Topografía Especial con lecturas que permitan obtener una conformación detallada del cauce del río y sus márgenes. Ubicar las orillas del agua, los niveles del fondo del río y el nivel del agua en el eje del camino.  
 Área de cobertura mínima:  
 25.0 m. aguas arriba y abajo del eje del camino y 30.0 m. a cada lado del centro del río.  
 El área varía según la longitud del puente.



(C y C'); (D y D')

Lecturas del nivel del "fondo" del río a distancias de 50.0 y 100.0 m. del eje del camino, a guisa arriba y abajo del cauce.  
 Tomar una sección transversal en cada uno de estos sitios, que cubran de barranco a barranco del río.

X-Y: Puntos de Referencia de Elevaciones y Coordenadas (2) Monumentados en Hormigón

B.- Accesos al puente proyectado: Secciones transversales cada 20.0 m. a partir de la Topografía Especial, hasta un mínimo de 60.0 m. a cada lado, hasta una distancia de 10.0 m. a cada lado del eje de camino

(\*) Varía según la longitud del puente proyectado

INSTRUCTIVO PARA TOPOGRAFIAS ESPECIALES  
 DISEÑO DE Puentes



## 5.2 LISTADO DE CÓDIGOS

Código	Descripción	Detalle
<b>Naturaleza</b>		
A	Árbol	
<b>Caminos</b>		
LC	Centro Camino, línea	Para caminos, canales y alineamientos en general
CB	Camino Borde	
CU	Cuneta	
AC (AC1,AC2,AC...)	Acera	Poner numeración para identificar unificación de aceras.
K (K1,K2,K...)	Cerca	Poner numeración para identificar unificación de cerca
TUB	Alcantarilla eje	Eje de tubo de alcantarilla parte inferior o superior En un punto colocar diámetro.
CAB	Alcantarilla Cabezal	El cabezal de concreto de una alcantarilla
REJ	Rejilla de alcantarilla	
CRDN	Cordón	Estructura de concreto al borde de calle.
CI-P	CAMARA DE INSPECCION	PLUVIAL
CI-A	CAMARA DE INSPECCION	Acueducto
CI-S	Cámara de inspección	Sanitario
CI-E	Cámara de inspección	eléctrico
DIR	Cámara de inspección	Dirección de los conductos.
ARCEN	HOMBRO DECALLE	
<b>Edificaciones y Objetos</b>		
H (H1,H2,H...)	Casa, Edificios, ranchos	Poner numeración para identificar unificación de estructuras.
TOR	Torre	De electricidad
LE	Línea eléctrica	Cableado eléctrico
LB - LM - LA	Línea eléctrica	Línea Baja - Línea Media - Línea Alta
PO	Poste	
PO-M	Poste de madera	
PO-TM	Poste de metal.	
PO-C	POSTE CONCRETO	
PM	Poste Marcado	Poste colocado pero que será ajustado en diseño
PR	Retenida	Retenida de un poste. Punto del anclaje
NET	Entrada	Entrada de una casa fina o local de concreto o tierra
VLL	Letreo o publicidad	Puntos de las patas y la altura.
MD	Medidor de luz	
<b>Topografía</b>		
BM	Punto de control	
PC	Punto de cambio	Si requiere identificar otro tipo agregar después de pc (PC-AXU, PC-A, PC-BM)
TN	Terreno Natural	
PIE	Piedra	Piedra de gran tamaño, más de un metro
RI	Borde de río	Nivel del agua
EA	Espejo de agua(Nivel de Agua)	Espejo de agua (Nivel del agua en el río)
RB	Barranco en borde de río	Cuando el Borde tiene barrajo o cauce seco.
RC	Río Centro	Centro del Río
RP	Río Puntos	Puntos dentro del río (Cualquiera NO BORDE)
QC	Quebrada Centro	Centro de una quebrada
QB	Quebrada borde	Borde superior de una quebrada
BAR	Barranco	
TP	Talud Pata	
TC	Talud Cabeza	
<b>Mediciones</b>		
V	Varilla	Varilla metálica
M	Mojón	Mojón de concreto
PA	Punto de amarre	Punto para amarrar una medición anterior

## 6.3 ESPECIFICACIONES TECNICAS LEICA SCANSTATION P20

General	
<b>Tipo de instrumento</b>	Escáner láser compacto de impulsos de alta velocidad con precisión, alcance y visión de campo topográfico, cámara integrada y plomada láser
<b>Interfaz de usuario</b>	Control incorporado, notebook o tablet PC, PDA
<b>Almacenamiento de datos</b>	Unidad de estado sólido incorporada (SSD) o USB externo
<b>Cámara</b>	Cámara digital integrada de alta resolución autoajustable y con video zoom.

Funcionamiento del sistema	
<b>Precisión de medición simple</b>	
Precisión de posición 3D	3 mm a 50 m; 6 mm a 100 m
Error lineal	± 1 mm
Precisión angular	8" horizontal; 8" vertical
<b>Adquisición de puntería*</b>	2 mm desviación típica hasta 50 m
<b>Compensador de doble eje</b>	A elegir on/off, resolución 1", intervalo dinámico +/- 5", precisión 1.5"

Sistema del láser escáner e imágenes																																																		
<b>Tipo</b>	Velocidad ultra-rápida con tecnología Waveform Digitising (WFD).																																																	
<b>Longitud de onda</b>	808 nm (Invisible) / 658 (Visible)																																																	
<b>Clase de láser</b>	Láser de clase 1 (según IEC60825:2014)																																																	
<b>Divergencia del rayo</b>	0.2mrad																																																	
<b>Diámetro del rayo en la ventana frontal</b>	± 2.8 mm																																																	
<b>Alcance</b>	Hasta 120 m; 18% reflectancia (alcance mínimo 0.4 m)																																																	
<b>Intervalo de escaneo</b>	Hasta 1'000'000 puntos/seg																																																	
<b>Nivel de ruido**</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Alcance</th> <th>Negro (10%)</th> <th>Gris (28%)</th> <th>Blanco (100%)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>10 m</td> <td>0.8 mm rms</td> <td>0.5 mm rms</td> <td>0.4 mm rms</td> </tr> <tr> <td>25 m</td> <td>1.0 mm rms</td> <td>0.6 mm rms</td> <td>0.5 mm rms</td> </tr> <tr> <td>50 m</td> <td>2.8 mm rms</td> <td>1.1 mm rms</td> <td>0.7 mm rms</td> </tr> <tr> <td>100 m</td> <td>9.0 mm rms</td> <td>4.3 mm rms</td> <td>1.5 mm rms</td> </tr> </tbody> </table>	Alcance	Negro (10%)	Gris (28%)	Blanco (100%)	10 m	0.8 mm rms	0.5 mm rms	0.4 mm rms	25 m	1.0 mm rms	0.6 mm rms	0.5 mm rms	50 m	2.8 mm rms	1.1 mm rms	0.7 mm rms	100 m	9.0 mm rms	4.3 mm rms	1.5 mm rms																													
Alcance	Negro (10%)	Gris (28%)	Blanco (100%)																																															
10 m	0.8 mm rms	0.5 mm rms	0.4 mm rms																																															
25 m	1.0 mm rms	0.6 mm rms	0.5 mm rms																																															
50 m	2.8 mm rms	1.1 mm rms	0.7 mm rms																																															
100 m	9.0 mm rms	4.3 mm rms	1.5 mm rms																																															
<b>Tiempo y resolución de escaneo (hh:mm:ss)</b>	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Config con 7 puntos pre establecidos (mm a 10 m)</th> <th colspan="4">Espaciamiento</th> </tr> <tr> <th colspan="2">Nivel de calidad</th> <th colspan="2"></th> </tr> <tr> <th>mm</th> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>50</td> <td>00:20</td> <td>00:20</td> <td>00:28</td> <td>---</td> </tr> <tr> <td>25</td> <td>00:33</td> <td>00:33</td> <td>00:53</td> <td>01:43</td> </tr> <tr> <td>12.5</td> <td>00:58</td> <td>01:44</td> <td>03:24</td> <td>06:46</td> </tr> <tr> <td>6.3</td> <td>01:49</td> <td>03:25</td> <td>06:46</td> <td>13:30</td> </tr> <tr> <td>3.1</td> <td>03:30</td> <td>06:47</td> <td>13:30</td> <td>26:59</td> </tr> <tr> <td>1.6</td> <td>13:33</td> <td>27:04</td> <td>54:07</td> <td>---</td> </tr> <tr> <td>0.8</td> <td>54:07</td> <td>1:48:13</td> <td>---</td> <td>---</td> </tr> </tbody> </table>	Config con 7 puntos pre establecidos (mm a 10 m)	Espaciamiento				Nivel de calidad				mm	1	2	3	4	50	00:20	00:20	00:28	---	25	00:33	00:33	00:53	01:43	12.5	00:58	01:44	03:24	06:46	6.3	01:49	03:25	06:46	13:30	3.1	03:30	06:47	13:30	26:59	1.6	13:33	27:04	54:07	---	0.8	54:07	1:48:13	---	---
Config con 7 puntos pre establecidos (mm a 10 m)	Espaciamiento																																																	
	Nivel de calidad																																																	
mm	1	2	3	4																																														
50	00:20	00:20	00:28	---																																														
25	00:33	00:33	00:53	01:43																																														
12.5	00:58	01:44	03:24	06:46																																														
6.3	01:49	03:25	06:46	13:30																																														
3.1	03:30	06:47	13:30	26:59																																														
1.6	13:33	27:04	54:07	---																																														
0.8	54:07	1:48:13	---	---																																														
<b>Visión de campo</b>																																																		
Horizontal	360°																																																	
Vertical	270°																																																	
<b>Puntería/Visual</b>	Sin paralaje, video zoom integrado																																																	
<b>Óptica de escaneo</b>	Espejo de rotación vertical sobre una base que gira horizontalmente Hasta 50 Hz con batería interna Hasta 100 Hz con fuente de alimentación externa																																																	
<b>Capacidad de almacenamiento de datos</b>	Unidad de estado sólido incorporada (SSD) de 256 GB o USB externo																																																	
<b>Comunicaciones</b>	Gigabit Ethernet o LAN inalámbrica incorporada																																																	
<b>Imágenes</b>	5 megapíxeles por cada imagen a color de 17° x 17°; imágenes de video continuo con zoom; ajustes automáticos según iluminación ambiente																																																	
<b>Pantalla incorporada</b>	Control de pantalla táctil con lápiz, pantalla gráfica a color, VGA (640 x 480 píxeles)																																																	
<b>Indicador de nivelación</b>	Nivel externo, nivel electrónico en el software																																																	
<b>Transferencia de datos</b>	Ethernet, WLAN o unidad USB 2.0																																																	
<b>Plomada láser</b>	Láser clase 1 (IEC60825:2014) Precisión de centrado: 1.5 mm a 1.5 m Diámetro de punto láser: 2.5 mm a 1.5 m ON/OFF a elegir																																																	

Sistema eléctrico	
<b>Alimentación</b>	24 V CD, 100 – 240 V CA
<b>Consumo de energía</b>	Tip. 40 W
<b>Tipo de baterías</b>	Interna: Ion de Litio; Externa: Ion de Litio
<b>Puertos de alimentación</b>	Interno: 2, Externo: 1 (uso simultáneo, conectable en caliente)
<b>Duración</b>	Interna > 7 hr (2 baterías), Externa > 8.5 h (temp. ambiente)

Especificaciones ambientales	
<b>Temperatura de funcionamiento</b>	-20° C a +50° C / -4° F a 122° F
<b>Temperatura de almacenamiento</b>	-40° C a +70° C / -40° F a 158° F
<b>Iluminación</b>	Funcionamiento completo desde condiciones de luz solar brillante hasta oscuridad total.
<b>Humedad</b>	No condensante
<b>Protección contra polvo/humedad</b>	IP54 (IEC 60529)

Características físicas	
<b>Escáner</b>	
Dimensiones (L x A x A)	238 mm x 358 mm x 395 mm / 9.4" x 14.1" x 15.6"
Peso	11.9 kg / 26.2 lbs, nominal (con/sin baterías)
<b>Batería (interna)</b>	
Dimensiones (L x A x A)	40 mm x 72 mm x 77 mm / 1.6" x 2.8" x 3.0"
Peso	0.4 kg / 0.9 lbs, nominal (con/sin baterías)
<b>Batería (Externa)</b>	
Dimensiones (L x A x A)	95 mm x 248 mm x 60 mm / 3.7" x 9.8" x 2.4"
Peso	1.9 kg / 4.2 lbs, nominal (con/sin baterías)
<b>Fuente de alimentación CA</b>	
Dimensiones (L x A x A)	170 mm x 85 mm x 42.5 mm / 6.6" x 3.3" x 1.6"
Peso	0.86 kg / 1.9 lbs, nominal (con/sin baterías)
<b>Montaje</b>	Normal o Invertida

Accesorios estándar incluidos	
Estuche de transporte	
Base nivelante (Leica Professional Series)	
4 baterías internas	
Cargador para batería / Cable de alimentación AC, adaptador para automóvil,	
Cable de cadena tipo margarita	
Cable para datos	
Cinta de medición y soporte para cinta	
Contrato de un año para soporte básico CCP	

Accesorios y servicios adicionales	
Señales de puntería B/N y accesorios	
Gama de Customer Care Products (CCPs) que incluyen soporte, mantenimiento de hardware y software y garantía extendida	
Batería externa con estación de carga, fuente de alimentación CA y cable de alimentación	
Cargador profesional para baterías internas	
Fuente de alimentación CA para escáner	
Tripode y trípode de estirada	
Adaptador para montaje Inverso	

Opciones de control	
Pantalla táctil a color para control del escáner,	
Control remoto: Controlador Leica CS10/CS15 u otro equipo remoto portátil como iPad, iPhone y otros Smartphones.	

Información para pedidos	
Contacte a su representante Leica Geosystems local o a un distribuidor de Leica Geosystems autorizado.	

Todas las especificaciones están sujetas a cambios sin previo aviso.  
Todas las especificaciones de precisión tienen un sigma, a menos que se indique algo diferente.  
\* Ajuste algorítmico planar para señales de puntería B/N  
\*\* Especificación más detallada bajo pedido

Escáner: Láser clase 1, según especificaciones IEC60825:2014  
Plomada láser Láser Clase 1 según IEC60825:2014

iPhone y iPad son marcas registradas de Apple Inc.

Las ilustraciones, descripciones y datos técnicos no son vinculantes. Todos los derechos reservados.  
Impreso en Suiza - Copyright Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Suiza, 2013  
795784es - 07.14 - galleda

## 6. BIBLIOGRAFÍA

Berné Valero, J. L. (2014). *GNSS. GPS: fundamentos y aplicaciones en Geomática*. Valencia: Universitat Politècnica de València.

Lerma, J. L. (2014). *Theory and practice on terrestrial laser scanning*. Valencia: Universitat Politècnica de València.