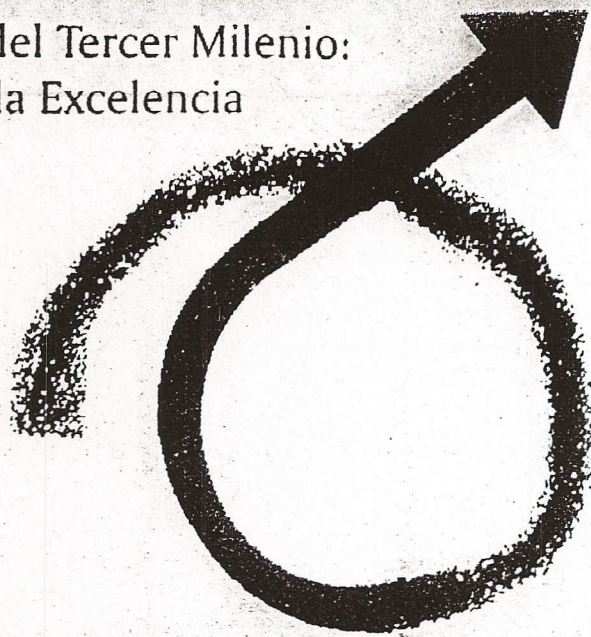


Perspectivas del Tercer Milenio:  
Búsqueda de la Excelencia



**ACTAS DEL II CONGRESO  
IBEROAMERICANO DE  
EXPRESION GRAFICA EN  
INGENIERIA Y ARQUITECTURA**

**VOLUMEN I**

**EGRAFIA**

ORGANIZACION DOCENTE  
UNIVERSITARIA DE EXPRESION GRAFICA

**Salta, Septiembre de 1999**

# ANÁLISIS COMPARATIVO EN LA REALIZACIÓN DE UN LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO (PLANIMÉTRICO - ALTIMÉTRICO): GPS Y ESTACIÓN TOTAL.

Arias Sánchez, Pedro; López López, Fernando; Rodríguez Pérez, José Ramón  
Área de conocimiento Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría. Departamento Ingeniería de los Recursos Naturales y Medio Ambiente. Universidad de Vigo.  
E.U.I.T.I. C/ Torrecedeira nº 86, Vigo (36208). Pontevedra  
E-mail: parias@uvigo.es; Tfno: 986-813683. Fax: 986-813644

## RESUMEN

En este artículo se pretende establecer una comparativa entre los dos equipos de uso más generalizado hoy en día en la Topografía: Estación Total y GPS, que sirva de apoyo para establecer unas pautas sobre como y cuando utilizar estos, en un medio físico particular como es el Noroeste de la Península Ibérica.

También se comprobó la bondad de los resultados obtenidos, comparando los modelos digitales del terreno que se obtienen al realizar varios levantamientos de la misma zona de trabajo. Así mismo se analizaron resultados como son, precisiones alcanzadas, tiempos de trabajo empleados, costes, etc.

Con la ESTACIÓN TOTAL, se planteó la realización de un itinerario cerrado, completando este con la radiación de una serie de puntos, que en su conjunto constituirán el levantamiento planimétrico y altimétrico de la zona de trabajo elegida. Posteriormente con estos datos de campo se obtuvieron Modelos Digitales del Terreno.

Con el GPS, en primer lugar se construyó una red local de apoyo, que sirve para la realización de la transformación de los datos obtenidos por el equipo (WGS 84) al sistema de coordenadas requerido, procediendo a continuación a la toma de puntos con el equipo móvil. Lo nos posibilita obtener Modelos Digitales del Terreno.

Se podría afirmar que, a pesar de los problemas detectados en el GPS presentó ligeras ventajas como son, menor mano de obra necesaria y menores tiempos de trabajo empleados, pero en todo caso no determinantes como para desechar un equipo y una metodología de las propuestas con respecto a la otra. Así mismo otro factor determinante que podría condicionar esta elección es el sobreprecio tan elevado de este, respecto a la Estación Total.

## 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

La idea de este trabajo surgió, por parte de este equipo, ante la incertidumbre existente inicialmente entre los miembros del mismo como profesores del Área de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría, así como de muchos profesionales de la Topografía, sobre los criterios que ayuden a decidir cuando se deben utilizar unos u otros equipos (Estación Total y GPS) en los trabajos realizados por estos profesionales y en un medio como en el que nos encontramos.

Se planteó inicialmente la búsqueda de una serie de pautas más a menos genéricas, que sirvan de apoyo o referencia a la hora de tomar este tipo de decisiones.

El objetivo fundamental de este artículo es la realización de una comparación de como, momentos, aptitudes y resultados obtenidos con los dos equipos utilizados en esta prueba, que permitan establecer una serie de parámetros o directrices que nos puedan servir de guía o apoyo a la hora de decidir en que condiciones y circunstancias se deben utilizar estos equipos: Estación Total y GPS, en un medio físico particular como es el Noroeste de la Península Ibérica (zona Sur Occidental de Galicia, concretamente) con unas características propias y fuertemente condicionantes, como son orografía muy irregular con fuertes pendientes, así como una vegetación (arborea y arbustiva) muy potente y desarrollada a base fundamentalmente de pinos (*pinus radiata*, básicamente) y eucaliptos (*eucalyptus sp.*).

Por otra parte también se pretendió comprobar la bondad de los resultados obtenidos con uno y otro equipo, comparando los modelos digitales del terreno que se obtienen al realizar estos distintos levantamientos de la misma zona de trabajo.

Por último mediante esta comparativa también se buscó analizar los resultados desde otra perspectiva, en cuanto a precisiones alcanzadas, tiempos de trabajo empleados, costes, etc.

## 2. MATERIAL

La primera decisión a tomar que se planteó fue decidir con que equipos se debería realizar este trabajo, la decisión en este caso y después de una breve discusión sobre el tema, fue clara. Los equipos que debían ser utilizados en este trabajo, son: Estación Total y GPS. Teniendo en cuenta que son los equipos más utilizados para realizar topografía clásica, y por lo tanto de los que mayor demanda existe y consecuentemente los que cuentan con mayor presencia en el mercado.

La Estación Total utilizada presenta los siguientes datos técnicos,

Precisión en la medida de ángulos:

Horizontales: 5''

Verticales: 5''

Medida de distancias, errores: 5 mm + 3 ppm

Alcance: 1 km (con un prisma); 1,5 km (con 3 prismas); 3,5 km (máximo)

Precisión de los Niveles:

Esférico: 10'

Tórico: 30''

Registro de datos: Registro On-line, con memoria intercambiable no volátil, capacidad aproximada de memoria 2.000 datos.

Por otra parte, se utilizó un doble equipo receptor GPS (indistintamente, uno de los receptores funcionando como base y el otro receptor funcionando como rover), de doble frecuencia (L1 y L2). Se utilizó el equipo funcionando en tiempo real (RTK), utilizando un sistema de radio modem para efectuar las correcciones y mejorar la precisión. El mencionado receptor, trabajando en tiempo real, logra una precisión centimétrica, una vez resueltas las ambigüedades.

Para el almacenamiento de los datos tomados en campo, se utilizó una libreta o colector de datos, con procesador 286, como programa informático, para el manejo y tratamiento de la información recogida con el receptor GPS, se utilizó el software denominado SURVEY PRO de TDS, utilizando este tanto para la gestión de los datos de campo, como para la configuración (como base y como rover) del doble receptor GPS.

Como zona y tipo de trabajo para la realización de esta prueba, se propuso la realización de un levantamiento topográfico completo (planimétrico y altimétrico) de una escombrera de materiales de desecho procedentes de una cantera de granito situada en las proximidades, esta se encuentra en una zona de fuertes pendientes y abundante vegetación, en el lugar de REBORDA, parroquia de REBORDANS, concello de TUI (Pontevedra). Se buscó una escombrera para realizar este levantamiento (en lugar de un levantamiento topográfico clásico de una zona más o menos extensa), por el aumento de las posibilidades al analizar los resultados obtenidos, al permitirnos estimar volúmenes de material depositado.

## 3. MÉTODOS

La metodología empleada fue específica para cada equipo, pudiendo describirse estas de la siguiente forma.

Con la ESTACIÓN TOTAL, se planteó la realización de un itinerario cerrado, a partir de la elección de un punto cualquiera de coordenadas arbitrarias, se diseñó este itinerario de forma que con la realización de cuatro estaciones se posibilitaba la realización del levantamiento topográfico, completando éste con la radiación desde

cada una de estas estaciones de una serie de puntos, que en su conjunto constituirán el levantamiento planimétrico y altimétrico de la zona de trabajo elegida.

Posteriormente estos datos de campo fueron tratados con un programa informático, mediante el que se ajustarán los datos del itinerario, calculando a partir de estos datos ya corregidos, las coordenadas (X, Y, Z) de la nube de puntos que constituyen el levantamiento planimétrico - altimétrico de la zona. A partir de las coordenadas de estos puntos, se generó un archivo en código ASCII, lo que permite a continuación poder tratar este fichero con un programa informático específico, que nos posibilite obtener Modelos Digitales del Terreno y planos con curvas de nivel.

Con el GPS, el método de trabajo seguido fué el siguiente, en primer lugar se configuró con el "software" del colector de datos el equipo para trabajar en tiempo real, con radio enlace, utilizando uno de los receptores como base y el otro como rover o móvil, tomando con este último los datos de cada uno de los puntos que forman en su conjunto el levantamiento topográfico completo.

Para inicializar la toma de datos se construyó una red local de apoyo que, en este trabajo, consistió en 4 puntos de coordenadas locales conocidas, coincidentes estos con los puntos tomados como bases del itinerario previamente realizado, como lugar de estacionamiento de la base se tomó un punto cualquiera situado dentro de la zona de trabajo, procurando que en este punto la recepción de señal satélite sea la mejor posible.

Las coordenadas de los puntos de control (red local) se almacenarán en el fichero de control, que sirve para la realización de la transformación de los datos obtenidos por el equipo (WGS 84) al sistema de coordenadas requerido (local, en este caso). Una vez almacenados los puntos de control en este fichero, no es necesario volver a leerlos cada vez que se continúe con este trabajo, en sesiones o épocas distintas, simplemente hay que seleccionar el fichero de control adecuado que servirá de referencia para la toma de datos.

Uno de los hechos tenidos en cuenta a la hora de materializar los puntos de control, vino dado por la disposición de los vértices de la red local, ya que estos fueron situados definiendo lo mejor posible un plano base, para realizar la transformación de coordenadas WGS 84 a locales de nuestro sistema, con la mayor precisión posible, minimizando los errores con este ajuste.

Una vez establecida la red local de control, se procede a la toma de puntos con el equipo móvil. El software de toma de datos se configuró para lecturas de coordenadas, de forma que el almacenamiento de los puntos únicamente se realizará a partir de una precisión previamente fijada en el receptor o colector de datos.

Una vez tomados todos los puntos que definan perfectamente la zona en la cual se realiza el trabajo, habremos completado lo que en su conjunto consideraremos como levantamiento planimétrico - altimétrico, esta serie de puntos, por la propia definición del sistema de trabajo utilizado (tiempo real con radio enlace, red local de apoyo, etc.), se suponen ya ajustados y corregidos, por lo que únicamente habrá que proceder a su volcado (utilizando el "software" específico al efecto) en un equipo informático, y con esta información consistente en una serie de coordenadas de puntos (X, Y, Z), transformar a continuación a un fichero en código ASCII genérico, que nos permita tratar estos datos con un programa informático específico, que posibilite obtener Modelos Digitales del Terreno y planos curvados.

Una vez generados los dos ficheros en código ASCII, por una parte el obtenido a partir de los datos tomados con la Estación Total y por otro a partir de los datos tomados con el equipo GPS, se procede a tratar estos archivos con el mismo programa informático, generando a continuación dos modelos digitales del terreno (MDT), pudiendo posteriormente comparar ambos (análisis de resultados), lo que nos permite analizar semejanzas y diferencias entre ellos. También se obtuvieron Modelos Digitales de Terreno (con los datos de levantamientos topográficos realizados) de la situación aproximada previa a la deposición de los materiales, lo que permite estimar volúmenes depositados, y comparar estos resultados obtenidos con Estación Total - GPS.

#### 4. RESULTADOS

Los resultados obtenidos, en ambos levantamientos topográficos fueron los siguientes:

Después de realizar el itinerario previamente comentado, y una vez volcados los datos, se observaron los siguientes errores de cierre:

- Eje X : 1 cm.
- Eje Y : 2,75 cm.
- Eje Z : 3,8 cm.

Calculando a continuación, una vez compensados esos errores, las coordenadas de los puntos que constituyen el levantamiento topográfico, con estas coordenadas se obtuvo el correspondiente Modelo Digital del Terreno, y el plano con curvas de nivel equidistantes cada metro. El número total de puntos tomados ascendió a 89 puntos.

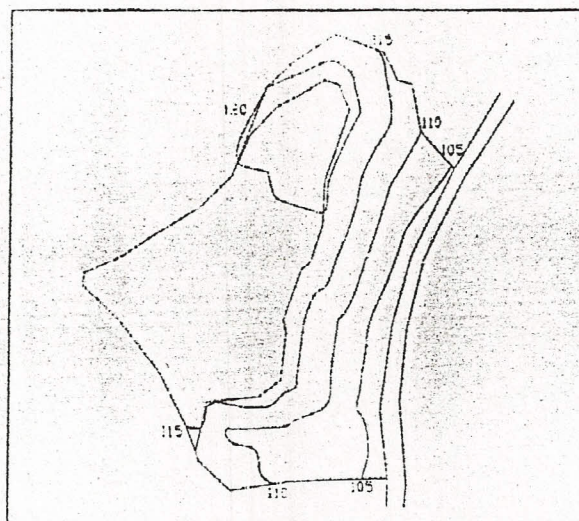


Fig. 1 - - MDT de la situación actual como escombrera, levantamiento realizado con Estación Total

Seguidamente se elaboró el Modelo Digital del Terreno en la situación previa de partida antes de la deposición de los materiales de desecho procedentes de la cantera, este modelo será teórico ya que no se dispone de datos reales del mismo, anteriormente al depósito de dichos escombros. Siguiendo como criterio principal, para la obtención de este, considerar un terreno regular y con pendientes más o menos constantes y uniformes, sin considerar ningún elemento o forma que pudiera alterar esta.

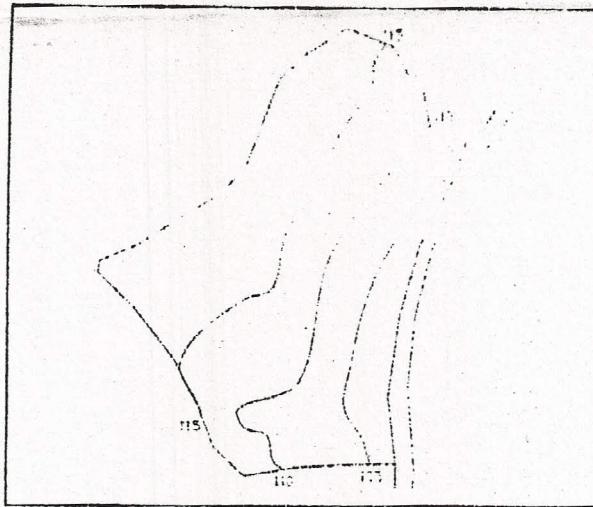


Fig. 2 - MDT de la situación teórica sin escombros, levantamiento realizado con Estación Total

En cuanto al número de operarios necesarios para la realización de este trabajo:

- ⊙ En la fase de campo son necesarios dos operarios (un instrumentista y un porta prismas).
- ⊙ En la fase de gabinete un único operador es suficiente para realizar el volcado de datos, ajustes y obtención de Modelos Digitales del Terreno.

Por otra parte en el apartado referente a los tiempos utilizados para realizar estas operaciones, estos fueron los siguientes:

- En el trabajo de campo se necesitaron un total de tres horas y quince minutos (3 h. y 15 m.) para completar el itinerario y la radiación de todos los puntos.
- En el trabajo de oficina o gabinete, se emplearon una hora (1 h.) para el volcado, ajuste del itinerario y cálculo de coordenadas de los puntos, y dos horas y treinta minutos (2 h. y 30 m.) aproximadamente para la obtención y presentación final de los dos Modelos Digitales del Terreno.

Los volúmenes estimados, de forma aproximada, como materiales depositados y las superficies afectadas por esta ocupación, fueron las siguientes:

- Superficie Total: 3.804,3 m<sup>2</sup>
- Volumen de material depositado: 12.167,2 m<sup>3</sup>

En la toma de datos con el equipo GPS, se observó una adaptación con ciertas dificultades a esta forma de trabajo, observando repetidas veces caídas de señal de satélites (principalmente, en las zonas donde la vegetación arborea era más abundante), no observando así mismo pérdidas de enlace en la señal radio.

La configuración del GPS utilizado como base, se realizó con 9 satélites. La configuración del GPS utilizado como móvil o rover, se realizó en las siguientes condiciones:

Recepción de señal de radio: 100%  
 Latencia detectada en la señal radio: 0.452 seg.  
 N° de satélites: 9

La red local de transformación de coordenadas, quedó finalmente constituida por 4 puntos, siendo las características de estos (precisiones al ser tomados, errores residuales detectados RMS en las distintas resoluciones parciales de la red local) las siguientes:

| N° Punto | Precisión Observada al tomar el punto |          | N° Satelites | RMS residuales en las distintas resoluciones parciales de la red local |        |        |          |          |
|----------|---------------------------------------|----------|--------------|--|--------|--------|----------|----------|
|          | Horizontal                            | Vertical |              | Norte  | Este   | Z      | Escala   | Rotación |
| 1        | 0,002                                 | 0,003    | 7            |  |        |        |          |          |
| 2        | 0,003                                 | 0,004    | 6            | 0  | 0      | 0      | 1,000298 | 3,4644   |
| 3        | 0,003                                 | 0,004    | 6            | 0,0061   | 0,0021 | 0      | 1,000316 | 3,4612   |
| 4        | 0,002                                 | 0,003    | 7            | 0,0127   | 0,0133 | 0,0057 | 1,000129 | 3,4549   |

Tabla 1 - Datos relativos a los puntos que forman la red local, al ser estos tomados.

El número total de puntos tomados, que forman el levantamiento topográfico, ascendió a 86 puntos. Las coordenadas de los puntos medidos ya se encuentran ajustados al ser tomados, con estas coordenadas se obtuvo el correspondiente Modelo Digital del Terreno y el plano curvado (equidistancia de curvas 1 metro). A continuación se elaboró el Modelo Digital del Terreno en la situación previa de partida antes del depósito de los materiales de la cantera, este modelo será teórico, siguiendo como criterio para la obtención de este, considerar un terreno regular y con pendientes constantes y uniformes.

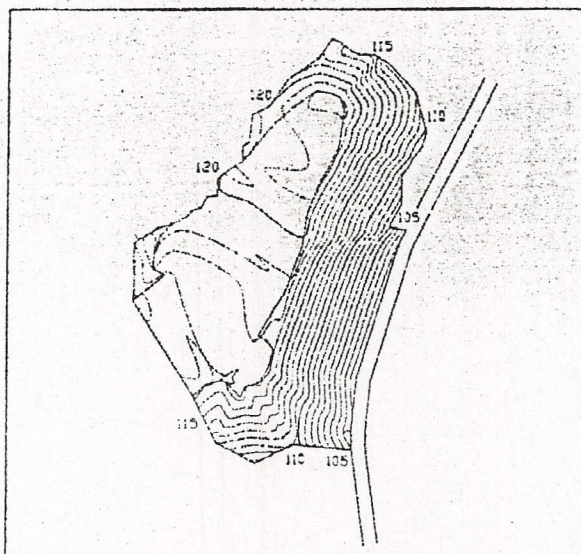


Fig. 3 - MDT de la situación actual como escombrera, levantamiento realizado con GPS

En cuanto al número de operarios necesarios para la realización de este trabajo:

- ⊖ En la fase de campo es necesario un operario.
- ⊖ En la fase de gabinete un único operador es suficiente para realizar el volcado de datos y obtención de Modelos Digitales del Terreno.

En el apartado referente a los tiempos utilizados para realizar estas operaciones, estos fueron los siguientes:

- En el trabajo de campo se necesitaron un total de dos horas y cuarenta minutos (2 h. y 40 m.) para completar la red local y la toma de todos los puntos que forman el levantamiento topográfico.
- En el trabajo de oficina o gabinete, se empleó quince minutos (15 m.) para el volcado de coordenadas de los puntos, y dos horas y treinta minutos (2 h. y 30 m.) aproximadamente para la obtención y presentación final de los dos Modelos Digitales del Terreno.

Los volúmenes estimados, de forma aproximada, como materiales depositados y las superficies afectadas por esta ocupación, fueron las siguientes:

- Superficie Total: 3.416,8 m<sup>2</sup>
- Volumen de material depositado: 12.938,5 m<sup>3</sup>

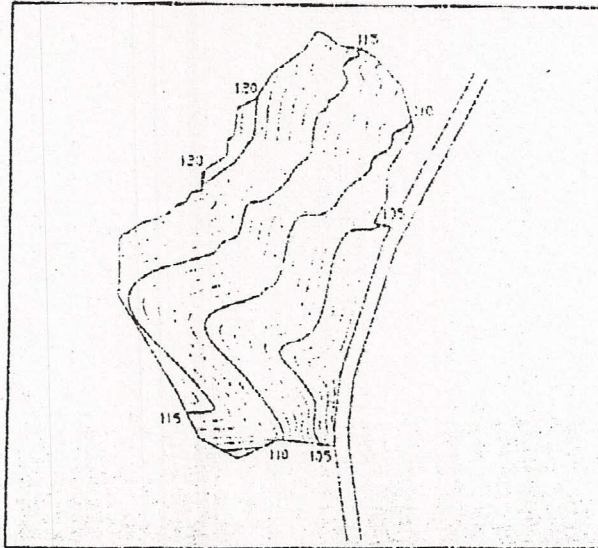


Fig. 4 - MDT de la situación teórica sin escombros, levantamiento realizado con GPS

## 5. CONCLUSIONES

La estación total presentó un comportamiento óptimo, no ocurriendo lo mismo con el equipo GPS, ya que este presentó repetidas veces durante la realización del trabajo caídas en la recepción de señal satélite, normalmente provocadas por la presencia de pantallas vegetales naturales, lo que se traducía en ralentizaciones y retrasos en la toma de puntos al ser necesarios tiempos de espera hasta la recuperación de la señal satélite mínima.

Los modelos digitales obtenidos son similares en todos los casos, lo que valida los datos tomados en campo con las dos metodologías propuestas.

La mano de obra en ambos casos es la misma en la fase de gabinete, sin embargo en la fase de campo con la estación total es necesario el doble de mano de obra que con el equipo GPS.

En cuanto a los tiempos empleados, cabría decir que estos fueron ligeramente inferiores al utilizar el equipo GPS (5 h. y 25 m.) respecto a la estación total (6 h. y 45 m.), esta reducción viene dada fundamentalmente en la fase de campo (a pesar de las caídas de señal de los satélites sufridas).

Las superficies afectadas son similares en los dos casos, pudiéndose achacar esas diferencias existentes (387,5 m<sup>2</sup>), a la no coincidencia entre los puntos periféricos tomados en uno y otro caso. En cuanto a los volúmenes acumulados, esta diferencia en los dos casos es también pequeña (menor al 7% del total acumulado).

Tanto en la toma de datos como en el procesado de los mismos, se pudo apreciar un buen comportamiento de la estación total y no tan bueno del equipo GPS, y muy buena adaptación de la metodología empleada a los fines perseguidos.

Otro factor muy importante a tener en cuenta son los costes de estos equipos, ya que a pesar de ciertas ventajas que presenta el equipo GPS respecto a la Estación Total, también no es menos cierto el sobreprecio del primero sobre el segundo, tanto si se plantea en régimen de compra (en los equipos utilizados en esta comparativa, del orden de cinco veces superior) como de alquiler. Por lo tanto bajo nuestro punto de vista, la compra sólo se vería



justificada en función de un volumen alto y constante de trabajo, que posibilitaría amortizar esa inversión (en ahorro de tiempos y mano de obra, básicamente).

A modo de conclusión se podría decir que, a pesar de los problemas detectados en el uso del GPS (dados principalmente por la abundante vegetación de porte arboreo, y por la orografía irregular de fuertes pendientes), presenta ligeras ventajas como son menor mano de obra necesaria y menores tiempos de trabajo empleados, pero en todo caso no determinantes como para desechar un equipo y una metodología de las propuestas con respecto a la otra.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Hurn, J.; "GPS-GUÍA PARA LA PRÓXIMA UTILIDAD". 1.989.
- [2] Caturia Sanchez de Neira, J.L., "SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (G.P.S.)". Madrid. I.G.N. 1.988.
- [3] Nuñez, A.; Valbuena, J.L.; Velasco, J.; "GPS. LA NUEVA ERA DE LA TOPOGRAFÍA". Madrid. Ciencias Sociales S.A., 1.992.
- [4] Nuñez, A.; Valbuena, J.L., "EVOLUCIÓN DE LA GEODESIA Y GPS". Madrid. C.O.I.T. Topógrafos. 1.990.
- [5] Hofmann, B.; Lichtenegger, H.; Collins, J.; "GLOBAL POSITIONING SYSTEM. THEORY AND PRACTICE". Viena. Springer-Verlag Wien. 1.992.
- [6] Ojeda Ruiz, J.L.; "MÉTODOS TOPOGRÁFICOS Y OFICINA TÉCNICA" El autor. 1.984
- [7] Dominguez Garcia-Tejero, F.; "TOPOGRAFÍA ABREVIADA". Madrid. Mundi-Prensa. 1.993.
- [8] Ferrer Torio, R; Piña Patón, B.; "INSTRUMENTOS TOPOGRÁFICOS". Santander. E.T.S.I.C.C. y P. Universidad de Cantabria. 1.991.