



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**TESIS**

**USO DEL GPS Y SU INFLUENCIA EN LA RECOLECCIÓN DE  
DATOS TOPOGRÁFICOS EN LAS EMPRESAS  
CONSTRUCTORAS DE ICA**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:**

**MORAN QUISPE VICTOR DAVID**

**PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**ICA - PERÚ**

**2017**

**DEDICATORIA:**

De manera muy especial a nuestro ser supremo Dios quien me conduce para lograr mis metas profesionales.

**AGRADECIMIENTO:**

Especialmente a mis maestros, a mi familia y muy especial a mis padres por ayudar en mi formación científico.

**RECONOCIMIENTO:**

A las autoridades y docentes de la escuela profesional de Ingeniería Civil - Universidad Privada "Alas Peruanas" de Ica, quienes me han brindado el apoyo suficiente para poder realizar el presente trabajo de investigación.

## ÍNDICE

CARÁTULA	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
RECONOCIMIENTO	iv
ÍNDICE	v
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
INTRODUCCIÓN	x

### CAPÍTULO I

#### PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

1.1.	DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA	1
1.2.	DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.2.1.	DELIMITACIÓN ESPACIAL	2
1.2.2.	DELIMITACIÓN TEMPORAL	2
1.3.	PROBLEMAS DE INVESTIGACIÓN	2
1.3.1.	PROBLEMA PRINCIPAL	2
1.3.2.	PROBLEMAS ESPECÍFICOS	2
1.4.	OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	2
1.4.1.	OBJETIVO GENERAL	2
1.4.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
1.5.	HIPÓTESIS Y VARIABLES	3
1.5.1.	HIPÓTESIS GENERAL	3
1.5.2.	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS	3
1.5.3.	VARIABLES (OPERACIONALIZACIÓN)	4
1.6.	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	5
1.6.1	TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN	5

a) TIPO DE INVESTIGACIÓN	5
b) NIVEL DE INVESTIGACIÓN	5
1.6.2 MÉTODO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN	5
a) MÉTODO DE INVESTIGACIÓN	5
b) DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	5
1.6.3 POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN	6
a) POBLACIÓN	6
b) MUESTRA	6
1.6.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	6
a) TÉCNICAS	6
b) INSTRUMENTOS	6
1.6.5 JUSTIFICACIÓN, IMPORTANCIA Y LIMITACIONES	6
a) JUSTIFICACIÓN	6
b) IMPORTANCIA	7

## **CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO**

2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA	8
2.2 BASES TEÓRICAS	10
2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS	80

**CAPÍTULO III**  
**PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE**  
**RESULTADOS**

3.1	ANÁLISIS CUANTITATIVO DE LAS VARIABLES	85
-----	----------------------------------------	----

**CAPÍTULO IV**  
**PROCESO DE CONTRASTE DE HIPÒTESIS**

4.1	PRUEBA DE HIPÒTESIS GENERAL	101
-----	-----------------------------	-----

**CAPÍTULO V**  
**DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	108
	CONCLUSIONES	109
	RECOMENDACIONES	110
	FUENTES DE INFORMACIÓN	111
	<b>ANEXOS</b>	113
	MATRIZ DE CONSISTENCIA	114
	ENCUESTAS – CUESTIONARIOS – ENTREVISTAS	115

## RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo determinar la influencia de las aplicaciones GPS en el levantamiento topográfico de las empresas constructoras de Ica, año 2017.

La metodología empleada es descriptiva, porque presenta las opiniones de los especialistas para llevar a cabo la investigación, asimismo cumple los requerimientos de ser una investigación prospectiva, de corte transversal y con diseño no experimental, se utilizó un cuestionario, el mismo que fue aplicado a 35 ingenieros civiles para conocer su opinión con respecto a las variables GPS y levantamiento topográfico.

Se concluye que las aplicaciones GPS influyen en un 94% en el levantamiento topográfico de las empresas constructoras de Ica, año 2017.

**Palabras clave:**

GPS, Levantamiento, Topografía.

## **ABSTRACT**

This study aims to determine the influence of GPS applications in the topographic survey of the construction companies of Ica, year 2017.

The methodology employed is descriptive because describes them opinions of them specialists for carry to out it research, also meets them requirements of be a research prospective, of cutting Cross and with design not experimental, applied the instrument questionnaire the same that was applied to 35 engineers civil for know your opinion with regard to them variable GPS and rising topographic.

It is concluded that GPS applications influence by 94% in the topographic survey of the construction companies of Ica, year 2017.

**Key words:**

GPS, survey, surveying.

## INTRODUCCIÓN

Con el fenómeno de la globalización actualmente se viene aplicando innovadoras tecnologías que abarcan diversos ámbitos del conocimiento, como por ejemplo la Topografía. La tecnología GPS se encuentra a disposición desde hace más de 30 años, pero la aplicación y manejo de la investigación sigue mostrando incontables incertidumbres, a los distintos beneficiarios.

Mediante este estudio se proporciona datos asociados con el uso de las aplicaciones GPS y su influencia en el levantamiento topográfico de las empresas constructoras de Ica, de tal forma que los datos presentados sean importantes en el momento de realizar un levantamiento topográfico otorgándole al producto los parámetros de precisión, exactitud y calidad ansiados en todo plan topográfico.

Al desarrollar este estudio tenemos como premisa los diversos puntos requeridos en el levantamiento topográfico formando afectaciones en las aplicaciones del GPS para el posicionamiento, y de la frecuencia de equipos que han reformado de manera concluyente la forma de capturar, registrar, almacenar y procesar los datos de campo.

# CAPÍTULO I

## PLANTEAMIENTO METODOLÓGICO

### 1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

Se considera de vital importancia la utilización de equipos GPS específicamente para extensiones físicas comparativamente grandiosas que observan en su generalidad las peculiaridades convenientes de la tierra, su aplicación se realiza para conseguir levantamientos topográficos intensamente exactos.

Las actividades relacionadas al levantamiento topográfico han sido modificadas tremendamente durante las pasadas décadas por la incorporación de instrumentos de última tecnología entre los que se puede mencionar el GPS (sistema de posicionamiento global) que es una red de satélites que orbitan la Tierra en puntos fijos por encima del planeta y transmiten señales a cualquier receptor GPS en la Tierra.

Estas señales llevan un código de tiempo y un punto de datos geográficos que consiente al usuario identificar su posición exacta, la velocidad y el tiempo en cualquier parte del planeta. Todo esto empieza a darse desde que el primer satélite GPS que data de 1978 y la fecha desde la que se razona en funcionamiento el sistema es enero de 1994 y es muy usado en geodesia desde 1967 en todo el mundo y que hoy en día satisfacen muchas necesidades en la ingeniería de la edificación.

## **1.2 DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.2.1 Espacial**

Esta investigación se desarrolló en la provincia de Ica.

### **1.2.2 Temporal**

La presente investigación se realizó desde marzo de 2016 hasta abril de 2017.

## **1.3 PROBLEMAS DE INVESTIGACIÓN**

### **1.3.1 Problema General**

¿En qué medida el uso GPS influye en la recolección de datos topográfico de las empresas constructoras de Ica?

### **1.3.2 Problemas Específicos**

¿En qué medida el uso de GPS submétricos influye en la recolección de datos topográfico de las empresas constructoras de Ica?

¿En qué medida el uso de GPS monofrecuencia influye en la recolección de datos topográfico de las empresas constructoras de Ica?

¿En qué medida el uso de GPS doble frecuencia influye en la recolección de datos topográfico de las empresas constructoras de Ica?

## **1.4 Objetivos de la Investigación:**

### **1.4.1 Objetivo General:**

Determinar la medida en que el uso del GPS influye en la recolección de datos topográfico de las empresas constructoras de Ica.

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

Determinar la medida en que el uso del GPS submétricos influye en la recolección de datos topográfico de las empresas constructoras de Ica.

Determinar la medida en que el uso del GPS monofrecuencia influye en la recolección de datos topográfico de las empresas constructoras de Ica.

Determinar la medida en que el uso del GPS doble frecuencia influye en la recolección de datos topográfico de las empresas constructoras de Ica.

## **1.5 HIPÓTESIS Y VARIABLES**

### **1.5.1 Hipótesis general**

Si se usa GPS entonces se influye significativamente en la recolección de datos topográfico de las empresas constructoras de Ica.

### **1.5.2 Hipótesis específicas**

Si se usa GPS submétricos entonces se influye significativamente en la recolección de datos topográfico de las empresas constructoras de Ica.

Si se usa GPS monofrecuencia entonces se influye significativamente en la recolección de datos topográfico de las empresas constructoras de Ica.

Si se usa GPS doble frecuencia entonces se influye significativamente en la recolección de datos topográfico de las empresas constructoras de Ica.

### 1.5.3 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

VARIABLE	DIMENSIONES	INDICADORES
USO DEL GPS	GPS SUBMETRICOS	Modo cinemático Modo estático Precisión
	GPS MONOFRECUENCIA DE CODIGO Y FASE	Modo diferencial Trabajos topográficos Apoyos fotogramétricos, Levantamiento de puntos.
	GPS DOBLE FRECUENCIA	Aplicaciones Topográficas Aplicaciones Geodésicas. Redes topográficas Redes geodésicas
INFLUENCIA EN EL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO	Georeferenciación	Sistema de referencia Vértices Geodésicos Parámetros de transformación Coordenadas en el sistema local
	Obtención de la nube de puntos	Tiempo real Obtención de datos Cálculo de coordenadas Coordenadas del levantamiento
	Edición cartográfica o adquisición de datos	Captura de datos Cálculo topográfico Producción cartográfica

## **1.6 METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.6.1 TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **a) Tipo de Investigación**

Investigación básica, porque mantiene como intención recoger información de la realidad y ennoblecer el conocimiento científico orientándonos al descubrimiento de principios y leyes. Sánchez y Reyes (2002:13).

#### **b) Nivel de Investigación**

Acorde a la naturaleza del estudio de la investigación reúne por su nivel las tipologías de un estudio descriptivo y correlacional que pertenecen a los niveles II y III. Sánchez (1996).

### **1.6.2 MÉTODO Y DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN:**

#### **a) Método de investigación**

Es observacional porque se plantea un modelo que relaciona variables independientes consideradas como supuestas causas, para observar sus efectos sobre las variables dependientes de un contexto donde hay un grupo experimental y grupo de control

#### **b) Diseño de investigación**

Es descriptivo porque describe la realidad en el lugar de los hechos en forma directa cuyos datos a recolectar son numéricos, ordinales para determinarlos en frecuencia.

### **1.6.3 POBLACIÓN Y MUESTRA DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **a) Población**

La población está correspondida por 35 ingenieros civiles que laboran en empresas constructoras de Ica.

#### **b) Muestra**

La investigación considera una muestra tipo censal y quedó constituida por los 35 ingenieros civiles de empresas constructoras, es decir se considera a toda la población.

### **1.6.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS**

#### **a) Técnicas**

Encuesta, esta técnica consistió en rescatar datos puntuales y más estructurados a través de preguntas que se expresan de acuerdo a la investigación, esto fue un gran apoyo en el proceso analítico que se realizó para verificar la relación entre las variables de la investigación.

#### **b) Instrumentos**

Los instrumentos a emplear propios de las técnicas antes mencionadas serán: una guía de entrevista y cuestionarios elaborados teniendo en cuenta criterios de estudio con respecto a las variables investigadas.

### **1.6.5 JUSTIFICACIÓN, IMPORTANCIA Y LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **a) Justificación**

El presente trabajo de investigación se realiza con el fin de ampliar nuestras erudiciones sobre las aplicaciones GPS así como también determinar su influencia el levantamiento topográfico. Para que el

hombre perfeccione las técnicas que necesita para auxiliarse en el amplio campo de la construcción.

### **b) Importancia**

Es importante conocer a fondo las nuevas formas en que se puede aplicar el GPS en el levantamiento topográfico para que tantos profesionales como el público en general puedan utilizar las técnicas más avanzadas y eficaces en el mundo de la construcción.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

Camargo (2011), desarrollo una tesis titulada: “Estudio y diseño de metodología con técnicas GPS para la actualización de la cartografía catastral del Municipio Palavecino” (Venezuela).

Esta investigación busca una alternativa para solventar las deficiencias detectadas (en una investigación realizada con anterioridad) para cumplir con la normativa de un catastro nacional dictada por el Instituto Geográfico de Venezuela; mediante la aplicación de una metodología diseñada, la cual se propone aplicar a un municipio modelo o piloto. Dando lugar a titular el trabajo de tesis doctoral como " Estudio y diseño de metodología con técnicas GPS para la actualización de la cartografía catastral del Municipio Palavecino (Venezuela). La cual se basará en la aplicación de herramientas y tecnología de bajo costo, aplicándose directamente sobre un municipio o territorio que permita el desarrollo de la tesis propuesta para su actualización catastral, además que pueda cumplir con las normas que se estipulan en la Ley de Geografía, Cartografía y Catastro Nacional de Venezuela.

El problema es, no el software estándar para este trabajo, como ellos probaron a encontrar ambigüedades enteras y en nuestro caso parece que podemos obtener ambigüedades de medio ciclo. Incluso si escribimos un

especial del software para la tarea, nos enfrentamos a una búsqueda espacial mucho más grande (por un factor de 2 elevado al número de satélites) y bajos niveles de confianza (como los posibles candidatos se reduce a la mitad).

Ayala & Hasbun (2012). En su tesis desarrollada: “Aplicaciones y uso de la tecnología de gps diferencial de doble frecuencia con precisión centimétrica en el área de levantamiento y replanteo topográfico georeferenciado. Universidad de El Salvador”.

El contenido del presente trabajo, buscó dar a conocer a los interesados el uso y manejo del receptor GPS modelo PROMARK200 para realizar los distintos tipos de Levantamientos topográficos como son: Estático, Cinemático y RTK.. Para el diseño de la Poligonal Georeferenciada se utilizó tecnología de punta como lo es GPS diferencial de doble frecuencia con precisión centimétrica, para el trabajo de medición de cada uno de los puntos establecidos para la poligonal y para el procesamiento de la información se utilizó el software GNSS Solutions. De acuerdo a los valores de coordenadas obtenidas para cada punto de la poligonal, se concluyó que en la diferencia de los valores en el Sistema WGS-84 entre un método y otro se encuentra en el orden de milésima de segundo que convertidas al sistema de Proyección Cónica de Lambert, representa una variación entre 7.00 mm y 8.00 cm, refiriéndose a latitud y Longitud ésta variación puede o no ser significativa dependiendo del tipo de trabajo que se vaya a realizar.

Alomoto (2013). En su tesis titulada: Levantamiento Topográfico y Catastral del Barrio San Francisco de Baños, de la Parroquia La Merced del Cantón Quito, Provincia de Pichincha.

Este trabajo servirá a la Parroquia para planificar y organizar convenientemente proyectos a futuro, catastrar las propiedades que forman parte de su territorio; y, a sus moradores para legalizarlas, para el avance ordenado de la Parroquia y de la ciudad. El presente proyecto se realizó gracias a un convenio entre la Universidad Central del Ecuador y el Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial (GADP) La Merced; está

basado en una restitución cartográfica realizada por el Instituto Geográfico Militar (IGM) sobre la Parroquia La Merced y sus alrededores, para la Dirección de Territorio y Catastro del IMQ. En cuanto a los levantamientos cartográficos, sus bases de datos, indudablemente que sirven a los gobiernos seccionales (parroquiales y cantonales), a más de la distribución del suelo también de las construcciones que se encuentran ocupando territorio. El Catastro permite a los gobiernos mejores recaudaciones de impuestos a la propiedad.

## **2.2 BASES TEÓRICAS**

### **2.2.1 APLICACIONES TOPOGRÁFICAS DEL G.P.S**

#### **2.2.1.1 Definición**

GPS es la abreviatura de Global Positioning System y utiliza la constelación NAVSTAR, siendo el acrónimo en inglés de Navigation System for Time And Ranging, traducido como Sistema de Posicionamiento Global. La metodología se basa en la determinación de la posición de puntos sobre la superficie terrestre, apoyándose en la información radioeléctrica enviada por satélites.

El GPS es un sistema basado en satélites artificiales activos, formando una constelación con un mínimo de 24 de ellos. Permite diferentes rangos de precisión según el tipo de receptor utilizado y la técnica aplicada.

#### **2.2.1.2 SISTEMA DE REFERENCIA Y PARAMETROS DE TRANSFORMACION**

Al realizar observaciones GPS, las coordenadas obtenidas están referidas al sistema WGS84. Para pasar estas coordenadas obtenidas mediante observaciones, al sistema de referencia local

que se precise, tendremos que hacer una transformación de coordenadas. Los parámetros de esa transformación son un total de siete, 3 traslaciones ( $T_x$ ,  $T_y$ ,  $T_z$ ), 3 rotaciones ( $R_x$ ,  $R_y$ ,  $R_z$ ), y un factor de escala ( $\lambda$ ) y se obtiene a partir de puntos con coordenadas conocidas en el sistema inicial (WGS-84) y en el sistema final (local). También pueden realizarse transformaciones 2D, interpolaciones, ajustes polinómicos, aplicación de superficies de mínima curvatura, etc. Este sistema local, que dependerá de la trascendencia de los datos, puede ser un puro sistema local generado a partir de unas coordenadas arbitrarias asignadas a un punto cualquiera, o puede tratarse, como generalmente ocurre, del sistema ED-50 definido como DATUM planimétrico en la cartografía oficial española. A continuación se detallan ambos sistemas, habitualmente empleados en trabajos topográficos por técnicas GPS. SISTEMA WGS84 El sistema convencional de referencia terrestre (CTRS) adoptado para el posicionamiento GPS es el denominado World Geodetic System 1984 (WGS84) que viene definido por:

- Origen en el geocentro.
- Eje Z paralelo a la dirección del Polo terrestre Convencional Internacional (CIO), posición del polo medio época 1984.0
- El eje X es la intersección del plano meridiano de referencia y el plano del ecuador astronómico medio.
- El eje Y, situado en este plano, constituye con X,Z un sistema coordenado rectangular dextrógiro.

Los valores de las constantes son:

- Semieje mayor:  $a = 6378137$  metros.
- $1/f = 298,257223563$
- Constante gravitacional:  $GM = 3986004,418 * 10^8 \text{ m}^3 / \text{s}^2$ .
- Velocidad de rotación:  $w = 7292115 * 10^{-11} \text{ rd/s}$ .

## SISTEMAS DE REFERENCIA LOCALES

Todas las redes geodésicas están calculadas sobre un sistema de referencia geodésico definido por:

- Elipsoide de referencia.
- Punto Astronómico fundamental (donde coinciden la vertical astronómica y la geodésica).
- Origen de longitudes y latitudes.
- Origen de altitudes

A este conjunto de datos, que nos permiten identificar un sistema coordinado, se le conoce por DATUM.

Para poder utilizar las observaciones GPS deberemos pasar del sistema WGS84 al sistema geodésico local.

En el caso de España este sistema emplea el Datum horizontal ED50 definido por:

- Elipsoide de Haydford.
- Punto fundamental Potsdam.
- Longitudes referidas al meridiano de Greenwich.

Como Datum vertical se utiliza:

- Altitudes referidas al geoide (datum en Alicante). El primer problema se plantea en las altitudes.

Las observadas mediante técnicas GPS, son altitudes elipsoidales referidas al elipsoide WGS84 mientras que las altitudes del marco de referencia RED-50 cuentan con altitudes ortométricas referidas al Datum vertical de Alicante, utilizando como superficie de referencia el geoide. Para pasar de un a sistema a otro, deberemos conocer la ondulación del geoide N respecto al elipsoide medida sobre la normal al elipsoide.

## PARAMETROS DE TRANSFORMACION

Para calcular los parámetros de transformación de un sistema a otro necesitamos conocer los valores de las coordenadas en ambos sistemas de un mínimo de 3 puntos. Estos 3 puntos nos generan 9 ecuaciones (3 por punto, una en cada eje) para la resolución de las 7 incógnitas que buscamos ( $T_x$ ,  $T_y$ ,  $T_z$ ,  $R_x$ ,  $R_y$ ,  $R_z$ ,  $\lambda$ ), siendo dos los grados de libertad. Calculados los parámetros de transformación entre dos sistemas de coordenadas podremos convertir las coordenadas de otros puntos de un sistema a otro, según las necesidades del trabajo.

### 2.2.1.3 DESCRIPCION DEL SISTEMA GPS SECTOR ESPACIAL SECTOR DE CONTROL SECTOR USUARIO

El sistema GPS consta de tres sectores: los satélites, el sistema de control terrestre de los mismos, y los receptores de usuario que recogen las señales enviadas por los satélites y determinan las coordenadas del punto sobre el que se encuentran. En la aplicación de la metodología GPS se diferencian esos tres elementos.

#### A. SECTOR ESPACIAL

Está compuesto por la constelación de satélites NAVSTAR (Sistema de Navegación para Tiempo y Distancia) los cuales transmiten: señal de tiempos sincronizados, parámetros de posición de los satélites, información del estado de salud de los satélites sobre las dos portadoras y otros datos adicionales. La constelación actual consta de entre 27 y 31 satélites distribuidos en seis órbitas con 4 ó más satélites en cada una. Los planos orbitales tienen una inclinación de 55 grados y están distribuidas uniformemente en el plano del ecuador. Con una órbita de 12 horas sidéreas, un satélite estará sobre el horizonte unas cinco horas. El objetivo es que al menos 4 sean visibles al mismo tiempo, a cualquier hora del

día y desde cualquier punto de la superficie terrestre. Los lanzamientos se llevaron a cabo en dos generaciones. De la primera de ellas, Bloque I, ya no quedan satélites operativos pues la vida media de los satélites era de 6-7 años. Todos los satélites actuales pertenecen al Bloque II-A, II-F y II-R.

La altitud de los satélites es de unos 20100 Km. a su paso por el zenit del lugar. Orbitan con un periodo de 12 horas sidéreas por lo que la configuración de un instante se repite el día anterior con una diferencia entre día sidéreo y día solar medio (3m 56seg). Los seis planos orbitales se definen con las letras A,B,C,D,E,F y dentro de cada órbita cada satélite se identifica con los números 1,2,3,4,5. Así cada satélite está perfectamente identificado, existiendo diversas formas de hacerlo: 1. Por el número de lanzamiento del satélite o número NAVSTAR (SVN) 2. Orbita a la que pertenece y número de posición dentro de ella 3. Número de catálogo NASA 4. Identificación Internacional: año de lanzamiento, día juliano, tipo 5. Número IRON. Número aleatorio asignado por NORAD. 6. Código Seudo Aleatorio (PRN). El sistema usual de identificación es por el Código Seudo Aleatorio del satélite.

Un satélite pueda quedar fuera de servicio civil por avería o envejecimiento de los paneles solares, falta de capacidad de los acumuladores, averías no conmutables de los sistemas electrónicos, agotamiento del combustible de maniobra o por intereses militares. La información temporal y de posición está íntimamente relacionadas.

El sistema GPS se basa fundamentalmente en la medida del tiempo de la forma muy precisa. Para ello los satélites contienen varios osciladores de alta precisión, con estabilizadores de máxima precisión capaces de dar medidas del tiempo del orden de  $10^{-12}$ , y de  $10^{-14}$  en los de última

generación (bloque III, todavía no operativo). Una referencia de tiempos defectuosa afecta al conjunto de la información del receptor. La escala de tiempo se denomina GPS Time, siendo la unidad el segundo atómico Internacional. El origen de la escala GPS se ha fijado como coincidente con el UTC a las 0 horas del día 6 de enero de 1980. El tiempo universal coordinado UTC es un tiempo atómico uniforme, cuya unidad es el segundo atómico (se trata de un híbrido entre tiempo atómico y tiempo universal). Señal de los satélites Cada satélite va provisto de un reloj-oscilador que provee una frecuencia fundamental sobre la que se estructura todo el conjunto de la señal radiodifundida por el satélite.

Los satélites poseen una serie de antenas emisoras que funcionan en la banda L del espectro electromagnético, que son las que recibiremos en nuestros receptores. El satélite emite información sobre dos movimientos ondulatorios que actúan como portadoras de códigos, la primera se denomina L1.

La segunda se denomina L2. El poder utilizar las 2 frecuencias permite determinar por comparación de la diferencia de retardos, el retardo ionosférico, difícilmente predecible por otros sistemas. Sobre estas dos portadoras se envía una información modulada compuesta por tres códigos y un mensaje de navegación, generados también a partir de la frecuencia fundamental correspondiente.

El primer código que envían es el llamado código C/A (coarse /adquisition) y ofrece precisiones que en la actualidad oscilan entre los 3m y los 10 m, y el segundo es el código P (precise) con precisiones métricas. Estos códigos son usados para

posicionamientos absolutos, en navegación; y el tercero L2C de precisión similar al C/A.

En cuanto al mensaje, éste consta de 1500 bits, correspondientes a 30 segundos. Está dividido en 5 celdas. En cada celda encontramos información relativa a: CELDA 1 Parámetros de desfase del reloj y modelo del retardo ionosférico y troposférico. CELDAS 2-3 Efemérides de los satélites. CELDA 4 Aplicaciones militares. CELDA 5 Almanaque. Sobre la L1 se suelen modular los dos códigos vistos, el C/A y el P además del mensaje correspondiente. En la L2 sólo se modula también el mensaje de navegación además de los códigos L2C y P.

## **B. SECTOR CONTROL**

La misión de este sector consiste en el seguimiento continuo de los satélites, calculando su posición, transmitiendo datos y controlando diariamente todos los satélites de la constelación NAVSTAR. Había 5 centros: Colorado, Hawai, Kwajalein, Isla de Ascensión e Isla de Diego García. Desde 1995 hay 10 estaciones monitoras. Todas ellas reciben continuamente las señales GPS con receptores bifrecuencia provistos de relojes de H. También se registra una extensa información entre la que cabe destacar: • Influencia que sobre el satélite tiene el campo magnético terrestre.

- Parámetros sobre la presión de la radiación solar.
- Posibles fallos de los relojes atómicos.
- Operatividad de cada uno de los satélites.
- Posición estimada para cada uno de los satélites dentro de la constelación global Todos estos datos se transmiten a la estación principal situada en Colorado Spring (USA) donde se procesa la información, obteniendo de esta manera todas las posiciones de los satélites en sus órbitas (sus efemérides) y

los estados de los relojes que llevan cada uno de ellos para que con posterioridad los mismos satélites radiodifundan dicha información a los usuarios potenciales.

### **C. SECTOR USUARIO**

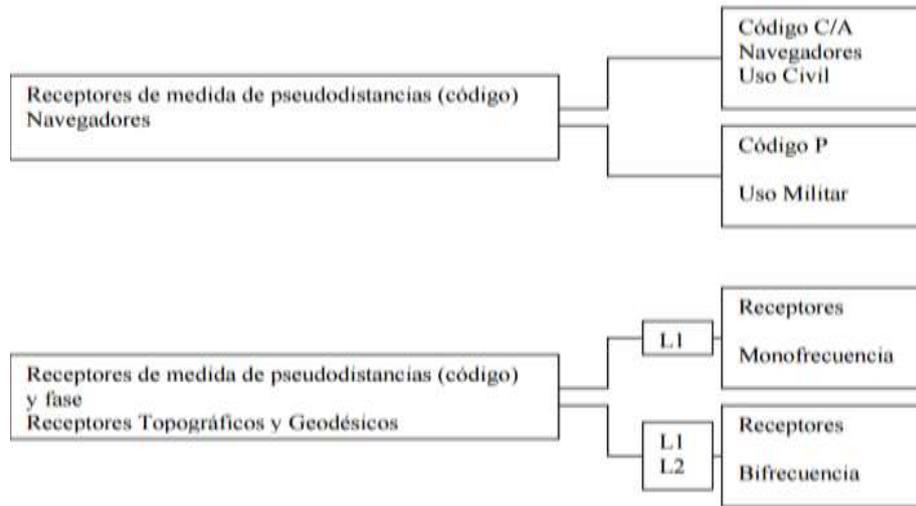
Este segmento del sistema GPS varía según la aplicación que se esté tratando. Está formado por todos los equipos utilizados para la recepción de las señales emitidas por los satélites, así como por el software necesario para la comunicación del receptor con el ordenador, y el postprocesado de la información para la obtención de los resultados. Hemos de tener en cuenta que el sistema GPS fue creado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos con fines exclusivamente militares y por ello el objetivo principal del GPS es el posicionamiento de vehículos y tropas militares en cualquier parte del mundo. Las primeras aplicaciones civiles llegaron de la mano de la Navegación, en lo que hoy conocemos como gestión y control de flotas.

#### **2.2.1.4 RECEPTORES GPS, CLASIFICACIÓN, DESCRIPCIÓN DEL RECEPTOR Y TRATAMIENTO DE LOS DATOS**

##### **A. CLASIFICACIÓN DE LOS RECEPTORES GPS**

Si los clasificamos en función del observable que emplean para determinar la posición del punto distinguimos entre receptores de medida de pseudodistancias (código), que son los navegadores, y los receptores de medida de pseudodistancias y fase (receptores topográficos y geodésicos). Los receptores también se pueden clasificar en receptores que registran la frecuencia L1 (código C/A), o bien registran conjuntamente las frecuencias L1 y L2 (receptores bifrecuencia).

**Figura N° 01: Sistema Anti-Spoofing está activado**



La principal diferencia entre unos equipos GPS y otros, atiende a la precisión que permiten alcanzar:

- **NAVEGADORES**

Únicamente reciben datos de código C/A por la portadora L1. Correlacionan el código y determinan la pseudodistancia entre el receptor y satélite, dando como resultado final coordenadas tridimensionales de la situación geográfica del receptor (X, Y, Z), en el Sistema Geodésico WGS-84

Son simples receptores GPS muy sencillos en su uso y de bajo precio. Funcionan autónomamente y consiguen precisiones por debajo de los 10 metros (sin Disponibilidad Selectiva SA-Selective Availability).

**i) GPS SUBMÉTRICOS** Son equipos GPS que reciben las mismas observables que los anteriores. Difieren de los anteriores al trabajar diferencialmente, un equipo de referencia y otro móvil en modo cinemático o en modo estático. Se trata de los equipos anteriores con admisión de correcciones. Las precisiones que se pueden conseguir se encuentran por debajo de 1 metro, en

función del tipo de receptor y los algoritmos de cálculo. Las aplicaciones se encuadran en los campos de la cartografía y GIS



## ii) GPS MONOFRECUENCIA DE CÓDIGO Y FASE

Estos receptores toman datos de la portadora L1 en sus dos modalidades código C/A y fase. Son equipos que trabajan en modo diferencial en tiempo real y en diferido (post-proceso). La precisión aumenta considerablemente respecto a los anteriores siendo de 1cm. + 2ppm., lo que nos permite utilizarlo en aplicaciones Topográficas. Otras de sus características son:

Opción menos cara.

Limitación de líneas menores a 15-20 kilómetros.

Tiempos altos de observación.

Con o sin opción RTK. 9 Utilizado en trabajos topográficos como densificaciones de redes, apoyos fotogramétricos, levantamiento de puntos.

## iii) GPS DOBLE FRECUENCIA



Son los equipos de mayor precisión, y se utilizan en aplicaciones Topográficas y Geodésicas. Toman observables de las dos portadoras emitidas por los satélites, realizando medidas de código C/A y P en L1, de código P y L2C en L2, y medidas de fase en L1 y L2. Trabajan en tiempo real o en post-proceso alcanzando precisiones del orden de 5mm.+1ppm y disminuyendo los tiempos de observación.

Se utilizan en redes topográficas y geodésicas, redes de control de deformaciones y control fotogramétrico, con tiempos de observación más cortos que en el caso anterior y distancias mayores de 20 km.

A continuación exponemos un cuadro comparativo de los diversos tipos de receptores GPS:

METODO	FRECUENCIA	OBSERVABLES	PRECISION	APLICACIONES
ABSOLUTO	L1	COD.C/A	±10 m	NAVEGACION
DIFERENCIAL	L1	COD. C/A	1 m	CARTO/GIS
DIFERENCIAL	L1	C/A Y FASE	1cm + 2ppm	TOPOGRAFIA
DIFERENCIAL	L1 Y L2	C/A,P,FASE	5mm + 1ppm	TOPO/GEO

## B. DESCRIPCIÓN DEL RECEPTOR

Los equipos que se utilizan de las aplicaciones topográficas y geodésicas constan de los siguientes elementos:

- ANTENA GPS:

Recibe y amplifica la señal recibida de los satélites. -

RECEPTOR GPS: Ordenador que decodifica la señal recibida por la antena y registra las observaciones

- TERMINAL: Es un interface de usuario que permite conocer el estado de la recepción, proceso de cálculo, y llevar a cabo la edición de los datos del receptor

La antena es el elemento al cual viene siempre referido nuestro posicionamiento, está conectada a través de un preamplificador al receptor, directamente o mediante cable. La misión de la antena es la de convertir la energía electromagnética que recibe en corriente eléctrica que a su vez pasa al receptor.

El receptor GPS consta de una serie de elementos que se encargan de la recepción de las radiofrecuencias enviadas por los satélites. Además suelen poseer diferentes canales para seguir simultáneamente a varios satélites, un procesador interno con su correspondiente soporte lógico, una unidad de memoria para el almacenamiento de la información, teclado de control, pantalla de comunicación con el usuario, diferentes conectores para funciones varias y una fuente de alimentación interna o externa. Por último, también se emplean trípodes, cables especiales, equipos de control meteorológico y diverso material auxiliar.



Una vez estacionados en el punto requerido y con el equipo completo en funcionamiento, el receptor puede ofrecer al operador, a través de la pantalla y con ayuda del teclado, una gran cantidad de información sobre la observación que estamos realizando:

- Satélites en seguimiento.
- Acimut de cada satélite en seguimiento.
- Elevación de cada satélite en seguimiento.
- Nuestra posición aproximada actual. (Longitud, latitud y altitud).
- Dirección y velocidad del movimiento, para navegación.
- Bondad de la geometría de observación.
- Bondad de la medida que puede hacerse sobre cada satélite.
- Edad o antigüedad de la información ofrecida.
- Progreso de la observación: satélites que se pierden y captan, y número de observaciones realizadas a cada uno.
- Nombre y número de la sesión que damos a la estación de observación, así como la identificación del operador y notas varias.
- Registros meteorológicos y datos locales introducidos.
- Estado de la fuente de alimentación.
- Otra información adicional.

El desarrollo de la tecnología GPS está orientado hacia la mejora en el seguimiento de satélites, la disminución de efectos multipath con complejos algoritmos de cálculo y la creación de equipos más compactos, pequeños y ligeros integrados en las estaciones totales tradicionales.

### **C. TRATAMIENTO DE LOS DATOS**

Para el tratamiento de los datos generalmente es necesario utilizar un programa informático específico, según la marca del instrumental, aunque cada vez es más frecuente mezclar la información registrada con diferentes receptores, y tratarla con

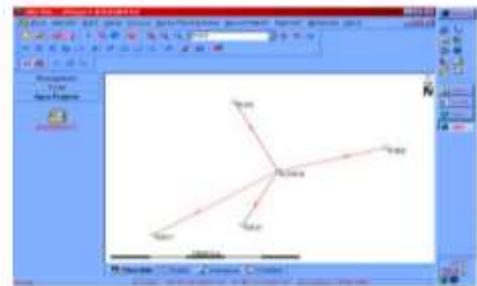
diferentes programas. En programa de tratamiento de datos en general consta de los siguientes módulos:

- Planificación de observaciones
- Descarga de datos, incluidos los ficheros universales RINEX.
- Gestión de proyectos, como unidades de trabajo.
- Resolución de “Ambigüedades”, calculando la línea-base.
- Visualizar y editar los datos GPS definitivos.
- Ajuste de los datos redundantes.
- Cálculo de la transformación del sistema WGS-84 al sistema local.
- Edición de las coordenadas definitivas.

Como ejemplo mostramos el programa SKI-Pro de la casa Leica:



Software de Gestión de la firma Leica.



Visualización de línea-bases

### 2.2.1.5. OBSERVABLES GPS Y MEDIDA DE DISTANCIAS A SATÉLITES

- MEDIDAS DE FASE El GPS es un sistema que permite obtener la posición de un punto midiendo las distancias existentes entre las antenas emisoras de los satélites y la antena receptora del equipo de campo. Existen dos métodos fundamentales: mediante pseudodistancias (o código) o por medidas de fase.

En ambos casos el objetivo es la determinación de la distancia entre la antena GPS y el satélite del que recibe la señal.

Calculando la distancia como mínimo a tres satélites e intersectando inversamente en el espacio podremos determinar las coordenadas de la antena receptora, si el reloj del satélite y el reloj del receptor estuviesen sincronizados, en la práctica son necesarios 4 satélites para resolver con el cuarto la incógnita del estado del reloj.

La precisión de dichas coordenadas dependerá del tipo de observaciones realizadas y de la metodología empleada en el posicionamiento. Por otra parte la metodología nos permite corregir parte de los errores que afectan a la precisión.

Las observables de tiempo (códigos) son:

- Código C/A modulado sobre L1.
- Código P modulado sobre la portadora L1.
- Código P modulado sobre la portadora L2.
- Código L2C modulado sobre la portadora L2.

Observaciones de diferencia de fase:

- Diferencia de fase de la portadora L1.
- Diferencia de fase de la portadora L2.

- **MEDIDAS DE CÓDIGO O PSEUDODISTANCIA** Para la solución geométrica son suficientes las mediciones de distancia a cuatro satélites, uno por cada incógnita (XYZ, tiempo). Esa distancia desde el receptor al satélite se determina por medio de una medición del tiempo de propagación del código C/A, L2C o del código P (este último de la portadora L1 o de la portadora L2). El satélite transmite un impulso (código), este impulso contiene información adicional del instante de emisión. En el receptor se mide el momento de llegada del impulso y se lee la información contenida sobre el instante de emisión.

La diferencia de tiempo multiplicada por la velocidad de propagación de la señal nos permite obtener la distancia. Esta medida se denomina "pseudodistancia". El tiempo del retardo nos permite calcular una distancia que no es precisamente la existente, ya que no conocemos el estado del reloj del receptor, de ahí que el valor hallado no sea una distancia real sino una pseudodistancia. El método de pseudodistancias es propio de la técnica GPS. Se trata de una auténtica multilateración tridimensional que sitúa a la estación de observación, en la intersección de las esferas con centro en el satélite y radio correspondiente a la distancia entre las antenas de los satélites y el receptor, medida por este. La pseudodistancia se podría definir como el desplazamiento temporal necesario para correlar una réplica del código GPS, generado en el receptor, con la señal procedente del satélite y multiplicado por la velocidad de la luz.

Por tanto el observable es un tiempo. La precisión de posicionamiento que nos ofrece este método es de aproximadamente un 1% del periodo entre sucesivas épocas de un código (se suele denominar longitud del chip). Así para el código P, cuyas épocas son de 0,1 microsegundo (por lo que la precisión de medida será de 1 nanosegundo), al multiplicar dicho factor por la velocidad de la luz, obtendremos una precisión de distancia de 30 cm. en tiempo real. Para el código C/A, cuya precisión es diez veces menor a la del código P, y obtendremos unos errores de unos 3 m.

- **MEDIDAS DE FASE** La determinación de la distancia por este tipo de medida se puede comparar a la metodología empleada por un distanciómetro. El satélite genera una onda con una determinada frecuencia (L1 o L2) en un instante y el receptor genera esa misma onda en ese mismo instante.

El receptor compara la onda recibida con la generada y mide el desfase entre ambas así como la variación de este desfase en el tiempo. Para determinar la distancia exacta nos falta conocer el valor inicial del número entero de longitudes de onda ( $N$  o “ambigüedad inicial de fase”) entre el satélite y el receptor que se mantendrá constante en el tiempo y después de un tiempo continuado de observación.

El método de medidas de fase es el que permite obtener mayor precisión. Su fundamento es el siguiente: partiendo de una frecuencia de referencia obtenida del oscilador que controla el receptor, se compara con la portadora demodulada

- **MEDIDAS DE CÓDIGO O PSEUDODISTANCIA**

Para la solución geométrica son suficientes las mediciones de distancia a cuatro satélites, uno por cada incógnita ( $XYZ$ , tiempo). Esa distancia desde el receptor al satélite se determina por medio de una medición del tiempo de propagación del código  $C/A$ ,  $L2C$  o del código  $P$  (este último de la portadora  $L1$  o de la portadora  $L2$ ).

El satélite transmite un impulso (código), este impulso contiene información adicional del instante de emisión. En el receptor se mide el momento de llegada del impulso y se lee la información contenida sobre el instante de emisión. La diferencia de tiempo multiplicada por la velocidad de propagación de la señal nos permite obtener la distancia. Esta medida se denomina “pseudodistancia”. El tiempo del retardo nos permite calcular una distancia que no es precisamente la existente, ya que no conocemos el estado del reloj del receptor, de ahí que el valor hallado no sea una distancia real sino una pseudodistancia.

El método de pseudodistancias es propio de la técnica GPS. Se trata de una auténtica multilateración tridimensional que sitúa a la

estación de observación, en la intersección de las esferas con centro en el satélite y radio correspondiente a la distancia entre las antenas de los satélites y el receptor, medida por este. La pseudodistancia se podría definir como el desplazamiento temporal necesario para correlar una réplica del código GPS, generado en el receptor, con la señal procedente del satélite y multiplicado por la velocidad de la luz.

Por tanto el observable es un tiempo. La precisión de posicionamiento que nos ofrece este método es de aproximadamente un 1% del periodo entre sucesivas épocas de un código (se suele denominar longitud del chip). Así para el código P, cuyas épocas son de 0,1microsegundo (por lo que la precisión de medida será de 1 nanosegundo), al multiplicar dicho factor por la velocidad de la luz, obtendremos una precisión de distancia de 30 cm. en tiempo real. Para el código C/A, cuya precisión es diez veces menor a la del código P, y obtendremos unos errores de unos 3 m. 5.2

- **MEDIDAS DE FASE**

La determinación de la distancia por este tipo de medida se puede comparar a la metodología empleada por un distanciómetro. El satélite genera una onda con una determinada frecuencia (L1 o L2) en un instante y el receptor genera esa misma onda en ese mismo instante. El receptor compara la onda recibida con la generada y mide el desfase entre ambas así como la variación de este desfase en el tiempo. Para determinar la distancia exacta nos falta conocer el valor inicial del número entero de longitudes de onda (N o "ambigüedad inicial de fase") entre el satélite y el receptor que se mantendrá constante en el tiempo y después de un tiempo continuado de observación.

El método de medidas de fase es el que permite obtener mayor precisión. Su fundamento es el siguiente: partiendo de una

frecuencia de referencia obtenida del oscilador que controla el receptor, se compara con la portadora demodulada.

#### **2.2.1.6. INCERTIDUMBRES EN OBSERVACIONES GPS**

Los parámetros que van a condicionar en gran medida las precisiones que podamos obtener con el sistema GPS, y por lo tanto las fuentes de error posibles pueden deberse a los satélites, al medio de propagación de la señal o a los receptores. Destacamos las siguientes:

- **Tiempo (relojes).** Dado que en la información que nos llega de los satélites, estos nos transmiten el tiempo exacto en el que empezaron a emitir su mensaje codificado, y que los receptores miden, también, el tiempo exacto en el que recibieron cada señal, podremos calcular una medida de distancia entre el receptor y el satélite, conociendo la velocidad de propagación de la onda y el tiempo transcurrido desde que se emitió la señal hasta que fue recibida. El problema surgirá cuando los relojes del satélite y el receptor no marquen el mismo tiempo, de tal manera que un microsegundo de desfase se traduce en un error de 300 metros en la medición de la distancia.
- **Ionósfera.** La ionósfera es la región de la atmósfera que se sitúa aproximadamente entre 50 y 1000 kilómetros sobre la superficie de la tierra. Posee la particularidad de que los rayos ultravioletas procedentes del sol ionizan las moléculas de gas que allí se encuentran liberando electrones, produciendo de esta forma una dispersión no lineal en las ondas electromagnéticas enviadas por los satélites. Cada onda se decelera en un ritmo inversamente proporcional al cuadrado de su frecuencia. La manera utilizada para eliminar esta fuente de error consiste en comparar la información que recibimos utilizando las dos portadoras, L1 y L2

(receptores bifrecuencia), mediante la combinación de observables; o trabajar con un límite de distancias entre vértices inferiores a 20 km.

- Tropósfera Estos errores se cometen cuando se produce una refracción de las ondas según las distintas condiciones meteorológicas de temperatura, presión y humedad relativa del aire, que encuentra a su paso. Para eliminar estos errores se aplican modelos troposféricos ya establecidos, o mediante algoritmos de estimación del retardo troposférico.
- Efecto Multitrayectoria Se produce cuando la onda sufre reflexiones, choques contra objetos reflectantes en su camino hacia la antena. Para reducir este efecto se requiere disponer de antenas con planos de tierra y sobre todo poner un especial cuidado en el emplazamiento de la misma. Para parametrizar la precisión de la geometría de los satélites se define el concepto de Indicador de la Precisión (DOP-Dilution Of Precision). Permite cuantificar la fortaleza de la geometría de los satélites y está relacionada con la distancia entre estos y su posición en el espacio.
- El factor DOP, refleja la configuración geométrica de los satélites, como coeficiente entre la incertidumbre de precisión a priori y la incertidumbre de precisión a posteriori. Una mala distribución de satélites ocasiona una alta incertidumbre en la posición. Cuando los satélites están bien distribuidos, la incertidumbre en la determinación de la posición es menor. Si los satélites están muy cerca unos de otros, se incrementa también la incertidumbre en la posición.

Se pueden calcular diferentes tipos de Dilución de la Precisión:

VDOP – Dilución Vertical de la Precisión. Incertidumbre en altura (vertical). Proporciona la degradación de la exactitud en la dirección vertical.

HDOP – Dilución Horizontal de la Precisión. Incertidumbre 2D (horizontal). Proporciona la degradación de la exactitud en la dirección horizontal. PDOP – Dilución de la Precisión en Posición.

Incertidumbre 3D. Proporciona la degradación de la exactitud en posición 3D.

TDOP – Dilución de la Precisión en Tiempo. Incertidumbre en tiempo. GDOP – Dilución de la Precisión Geométrica. Incertidumbre 3D y de tiempo. Proporciona la degradación de la exactitud en posición 3D y en tiempo.

El valor DOP más útil es el GDOP, ya que es una combinación de todos los factores. Sin embargo, algunos receptores calculan el PDOP o HDOP, valores que no toman en consideración el componente de tiempo. La mejor manera de minimizar el efecto del GDOP es observar tantos satélites como sean posibles.

No obstante hay que recordar que las señales de satélites con poca elevación generalmente tienen una gran influencia de las fuentes de error. Como regla general, cuando se utilice el GPS para topografía, lo mejor es observar satélites con un ángulo de elevación superior a  $15^{\circ}$  sobre el horizonte.

Las posiciones más precisas se calculan cuando el GDOP tiene un valor bajo, generalmente menor que 8. Las precisiones iniciales conseguidas en el posicionamiento estándar (SPS) con el sistema GPS superaban con creces las expectativas.

Este tipo de posicionamiento estaba a la altura del posicionamiento preciso (PPS) ofreciendo hasta 10 metros de precisión. Para degradar los valores obtenidos con SPS, el

Departamento de Defensa Americano puso en marcha la Disponibilidad Selectiva (SA), que actuaba sobre la información que enviaban los satélites en el mensaje, modificando los parámetros orbitales y el estado de los relojes. Con la disponibilidad selectiva activa las precisiones alcanzables eran de 15 a 100 metros. Se desactivó el 1 de Mayo de 2000, quedando el sistema GPS a libre disposición, sin distorsiones intencionadas de las señales.

Este concepto de Disponibilidad Selectiva (SA), consiste en alterar intencionadamente la señal de los satélites para controlar el uso civil del sistema. Era aplicado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos a la señal GPS, sometiendo a los relojes del satélite a un proceso conocido como "dithering" (dispersión), que altera ligeramente el tiempo. Y alterando la transmisión de las efemérides (o la trayectoria que seguirá el satélite). El factor SA afectaba a los usuarios civiles que utilizaban un solo receptor GPS para obtener una posición absoluta. Los usuarios de sistemas diferenciales no se veían afectados de manera significativa por este efecto. El resultado final supone una degradación en la precisión de la posición, y si bien el efecto SA está desactivado desde el 1 de mayo de 2000, deberá tenerse en cuenta de nuevo en el caso de que volviera a activarse. Otro efecto a considerar es el denominado efecto Anti-Spoofing (50-400 m), que también es una distorsión intencionada del código P.

Ha sido concebido con la idea de no permitir que otros usuarios tengan acceso al código P de la señal GPS, obligándoles a emplear el código C/A. El efecto Anti-spoofing encripta el código P en una señal conocida como código Y. Sólo los usuarios con receptores GPS militares (EEUU y sus aliados) pueden descifrar el código Y. Los receptores militares son más precisos porque no utilizan el código C/A para calcular el tiempo que tarda en llegar la

señal desde el satélite al receptor GPS. Únicamente emplean el código P.

El código P modula a la portadora con una frecuencia de 10,23 Hz., mientras que el código C/A lo hace a 1,023 Hz. Las distancias se pueden calcular con mayor precisión empleando el código P, ya que este se transmite 10 veces más por segundo que el código C/A. Los usuarios de receptores GPS militares generalmente obtendrán precisiones del orden de 5 metros, mientras que los usuarios de equipos GPS civiles equivalentes únicamente alcanzarán precisiones de 10 metros sin SA, o un poco mejores.

Algunos de estas variables pueden controlarse. Por ejemplo el sesgo del oscilador de los satélites puede evitarse mediante las correcciones enviadas por las estaciones de seguimiento, el sesgo orbital mediante las efemérides calculadas a posteriori (efemérides precisas) y el retraso ionosférico mediante la utilización de dos frecuencias y el proceso diferencial.

El efecto multipath se evita situando la antena de tal forma que evitemos este tipo de ondas y nos serviremos de planos de tierra si es preciso. En la actualidad existe un firmware de seguimiento en los equipos que evita la recepción de este tipo de ondas. Los errores debidos al oscilador del receptor los resolveremos observando diferencialmente.

La incertidumbre introducida en la posición por las variables mencionadas que afectan a la observación GPS, se considera que puede tomar los siguientes valores (en metros):

Causa	GPS autónomo	Diferencial
Reloj del Satélite	1.5	0
Error orbital	0.5	0
Ionosfera	5-50	0.4
Troposfera	0.5	0.2
Ruido del receptor	0.3	0.3
Multipath	0.6	0.6
SA	30	0
Precisión típica	GPS autónomo	Diferencial
Horizontal	50	1.5
Vertical	78	2.0
3-D	93	2.8

### 2.2.1.7. METODOS Y APLICACIONES DE POSICIONAMIENTO GPS

Existen distintos criterios a la hora de clasificar los métodos de observación o posicionamiento GPS. Se pueden clasificar según distintos factores:

- Según el Sistema de Referencia:

#### 1. Absoluto

Se calcula la posición de un punto utilizando las medidas de pseudodistancias por código (C/A, L2C o P) con un solo receptor. La precisión del método está en menos de 10 metros (función del código utilizado).

#### 2. Relativo o Diferencial

Es necesario observar al menos con dos equipos simultáneamente. Las mediciones se pueden hacer por código o por fase. Se determina la distancia o incremento de coordenadas entre las antenas de los receptores (diferencia de posición entre ellos). A este método se le suele denominar diferencial. La gran

ventaja de este método radica en que los errores de posicionamiento, muy similares en ambos puntos, son eliminados en su mayor parte.

- Según el Movimiento del Receptor:

1. Estático

Se determina un único trío de coordenadas (X, Y, Z) directamente o ( $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$ ) si el posicionamiento es diferencial, de una antena a partir de una serie de observaciones realizadas durante un periodo de tiempo en el que no se sufren desplazamientos superiores a la precisión del sistema. Existe redundancia en la observación.

2. Cinemático

Se determina el conjunto de coordenadas (X, Y, Z) directamente o ( $\Delta X$ ,  $\Delta Y$ ,  $\Delta Z$ ) si el posicionamiento es diferencial, en función del tiempo y la situación de la antena, la cual estará en movimientos superiores a la precisión del sistema. No hay redundancia en las coordenadas del punto determinado, por tanto, se obtiene sin redundancia las coordenadas de un punto a partir de una muestra única de datos o época.

- Según el Observable Utilizado:

1. Medida de código Se determina a partir de pseudodistancias entre el satélite y el receptor mediante la utilización del código de la portadora. Se puede medir el código C/A (accesible para cualquier usuario) y L2C, o el código P (más preciso, pero normalmente encriptado).

2. Medida de fase de la portadora.- Se utiliza la fase de la portadora para realizar la medida de la pseudodistancia. Requiere trabajar en modo diferencial o relativo.

- Según el Momento de la Obtención de Coordenadas:

1. Tiempo Real (Real Time – RT). Las coordenadas del receptor, móvil o estático, se obtienen en tiempo real, es decir, en el momento de la observación. La precisión es función del observable utilizado (código o fase) y del método utilizado, absoluto o relativo.

2. Postproceso. Las coordenadas del receptor, móvil o estático, son obtenidas en postproceso, es decir, una vez finalizada la observación se calculan las posiciones en gabinete (lo que permite trabajar con efemérides más precisas). Este método se suele utilizar para posicionamiento estático relativo. En el caso de posicionamiento estático relativo con medida de fase se obtienen soluciones más precisas que en tiempo real.

A partir de la combinación de estos métodos puros surgirán los distintos métodos de observación propiamente dichos:

- Estático Absoluto (pseudodistancias).
- Cinemático Absoluto (pseudodistancias).
- Estático Relativo (pseudodistancia y fase) 1. Estándar 2. Rápido
- Cinemático relativo (pseudodistancia y fase) 1. Cinemático (postproceso). 2. RTK (fase, tiempo real, Real Time Kinematic). 3. RT-DGPS (código, Real Time Diferencial GPS)

Para el caso de la topografía y geodesia todas las medidas GPS utilizarán el modo diferencial o relativo. Es decir, se mide una línea base (o base línea), desde un punto fijo (estación de referencia con coordenadas conocidas) a un punto desconocido (móvil o “rover”). A continuación se explican los principales métodos de posicionamiento GPS aplicados en Topografía y Geodesia.

Estos métodos utilizan la medida de fase para la determinación de la línea base entre el receptor fijo y el receptor móvil:

## 1. Método Estático Relativo Estándar

Se trata del clásico posicionamiento para la medida de distancias con gran precisión ( $5\text{mm} + 1\text{ppm}$ ) en el que dos o más receptores se estacionan y observan durante un periodo mínimo de media hora, una o dos (o más), según la redundancia y precisión necesarias, y en función de la configuración de la constelación local y distancia a observar. Los resultados obtenidos pueden alcanzar precisiones muy altas, teóricamente hasta niveles milimétricos. Este método es el empleado para medir distancias mayores de 20 kilómetros con toda precisión.

Las aplicaciones de este método son:

- Redes geodésicas de cobertura a grandes áreas.
- Redes nacionales y continentales.
- Seguimientos de movimientos tectónicos.
- Redes de gran precisión.

## 2. Método Estático Relativo Rápido

Es una variante del Método Estático Relativo Estándar. De esta forma se reducen los periodos de observación hasta 5 o 10 minutos por estación, manteniendo los mismos ordenes de precisión que para el método Estático ( $5\text{mm}-10\text{mm} + 1\text{ppm}$ ). Utiliza un algoritmo para la resolución estadística de las ambigüedades (en los equipos de la casa Leica, este algoritmo de resolución rápida de ambigüedades se denomina FARA), que permite la disminución de los tiempos de observación, por el contrario, tiene la limitación en las distancias a observar, menores de 20 kilómetros. El método destaca por su rapidez, sencillez y eficacia. Las aplicaciones de este método son:

- Redes topográficas locales.
- Redes de control.
- Apoyo fotogramétrico.

### 3. Método Cinemático Relativo

El receptor de referencia estará en modo estático en un punto de coordenadas conocidas, mientras el receptor móvil (ROVER), deberá ser inicializado para resolver la ambigüedad, de una de las siguientes formas: mediante una observación en estático (rápido) o bien, partiendo de un punto con coordenadas conocidas.

Las épocas o intervalos de cadencia de toma de datos será función del objetivo de trabajo (velocidad del movimiento, cantidad de puntos a levantar...). Existen mayores restricciones en la observación, ya que no puede haber pérdida de la ambigüedad calculada inicialmente. Si la hubiera tendríamos que volver a inicializar el receptor móvil. Existe una variante de este método denominado STOP&GO. En este caso existe un número determinado de puntos a levantar, en los cuales realizaremos una parada durante unas épocas, almacenaremos la información del punto y seguiremos sin perder la señal de los satélites, hacia el siguiente punto a levantar. Este método ha quedado obsoleto en la actualidad debido a la aparición del RTK. 4. Real Time Kinematic (RTK)- GPS en Tiempo Real Consiste en la obtención de coordenadas en tiempo real con precisión centimétrica (1 ó 2 cm + 1ppm).

Usualmente se aplica este método a posicionamientos cinemáticos, aunque también permite posicionamientos estáticos. Es un método diferencial o relativo. El receptor fijo o referencia estará en modo estático en un punto de coordenadas conocidas, mientras el receptor móvil o "rover", es el receptor en movimiento del cual se determinarán las coordenadas en tiempo real (teniendo la opción de hacerlo en el sistema de referencia local). Precisa de transmisión por algún sistema de telecomunicaciones (vía radio-modem, GSM, GPRS, por satélite u otros) entre REFERENCIA y ROVER.

Esta sería una restricción en la utilización de este método (dependencia del alcance de la transmisión). Sus aplicaciones son muchas en el mundo de la topografía, y van desde levantamientos, hasta replanteos en tiempo real, fundamentalmente. 5. Real Time Diferencial GPS (RTDGPS) Consiste en la obtención de coordenadas en tiempo real con precisión métrica o submétrica. Es un método diferencial o relativo.

El receptor fijo o referencia estará en modo estático en un punto de coordenadas conocidas, mientras el receptor móvil o Rover, es el receptor en movimiento del cual se determinarán las coordenadas en tiempo real (teniendo la opción de hacerlo en el sistema de referencia local). Se trabaja con el código, es decir con la medida de pseudodistancias. En el receptor móvil se realiza una corrección a las pseudodistancias calculadas, mediante los parámetros de corrección que envía el receptor de referencia.

Precisa de transmisión por algún sistema de telecomunicaciones entre REFERENCIA y ROVER. Este sería una restricción en la utilización de este método (dependencia del alcance del sistema de transmisión de telecomunicaciones utilizado). Mejora el posicionamiento absoluto por código. Este método se aplica fundamentalmente en navegación. En el caso de topografía y cartografía se usa en levantamientos a pequeña escala, GIS, actualizaciones cartográficas de pequeña escala.

## 2.2.1.8. GEOREFERENCIACION: TRANSFORMACIÓN DE SISTEMA DE REFERENCIA

La necesidad de trabajar en un único sistema de coordenadas común para un determinado ámbito requiere la existencia física y permanente de una serie de puntos con coordenadas conocidas en dicho sistema. Sobre estos puntos nos apoyaremos para determinar las coordenadas de nuestras bases de trabajo (previamente colocadas para cubrir la zona de trabajo) referidas a ese sistema inicial. A esta fase del proyecto se la conoce como Georeferenciación o enlace con la geodesia. Esos puntos conocidos previamente son los vértices geodésicos. De ellos sabemos sus coordenadas referidas al Datum Europeo ED-50 (Sistema ED-50), compuesto por el Punto Fundamental (Potsdam), Elipsoide Internacional o de Hayford y además sus coordenadas proyectadas cartográficamente, generalmente en España en la proyección UTM (Universal Transversa de Mercator).

- **Planificación.** En gabinete hay que planificar la elección de los vértices geodésicos que se van a utilizar, así como la ubicación de las bases que van a implantarse en la zona a apoyar. En la selección de los vértices, se han de tener en cuenta las siguientes consideraciones:
  - Los vértices geodésicos han de ser un mínimo de cuatro (3 vértices conllevan sólo dos grados de libertad), pues con ellos calcularemos unos parámetros de transformación y en caso de tener menos no podremos comprobar la resolución de dichos parámetros.
  - Han de cubrir perfectamente la zona.
  - Han de ser aproximadamente equidistantes entre ellos.

- **Localización de los vértices.**

El objetivo del trabajo de campo es la obtención de las coordenadas GPS de los vértices y de las bases planificadas en gabinete. Tras solicitar las reseñas y las coordenadas ED-50 de los vértices al Instituto Geográfico Nacional, se comprueba su localización. Se obtienen las fotografías de los mismos y se elaboran sus reseñas para futuras localizaciones, si se considera necesario.

A continuación se efectúa el reconocimiento de la zona de trabajo, y se comprueban los emplazamientos de los nuevos vértices diseñados. Posteriormente se lleva a cabo la señalización de los mismos y la confección de las reseñas.

- **Estacionamientos y observaciones**

Las técnicas de observación GPS requieren un mínimo de cuatro satélites y de un GDOP no superior a 8. También ha de decidirse la máscara de elevación, generalmente de 15° por encima del horizonte, durante las horas de trabajo. Ya con las bases y los vértices perfectamente localizados y reseñados comenzamos la observación utilizando el método estático estándar o rápido dependiendo de la distancia a la que se encuentren los vértices geodésicos seleccionados, respecto a la zona a apoyar.

El método estático estándar se emplea para distancias largas que superen los 20 Km. Normalmente se trabaja en post-proceso pues las condiciones de observación son diferentes en cada estación GPS. Las soluciones obtenidas son tan redundantes como deseamos, basta con ampliar las observaciones en común que han de ser de un mínimo de 25 - 30 minutos que aumentarán según aumente la distancia.

La precisión de una línea base es de 5 mm. + 1 ppm. siempre que se trate de dos equipos bifrecuencia y que observen en fase. Con distancias inferiores a los 20 Km podremos utilizar el método estático rápido. La diferencia con el método anterior son los algoritmos de cálculo, pues la forma de trabajar con los equipos es la misma. Es lógico que al reducir la distancia los tiempos de observación sean menores. La precisión que se obtiene con equipos bifrecuencia será del orden de 5 mm. + 1 ppm.



***Estación de Referencia***

Una vez observados los vértices geodésicos y las nuevas bases, se estaciona un receptor en una de ellas. Esta será la estación de referencia.

El método GPS de trabajo para el apoyo fotogramétrico es el método estático rápido. Un segundo receptor se desplaza a los puntos de apoyo para obtener los datos de observación del mismo. Una vez localizado el entorno de la imagen en el que se ha dar el punto de apoyo y seleccionado el detalle que va a serlo, se estaciona el equipo y se mide la altura de la antena. Se pone en funcionamiento el receptor, se introduce a través del

controlador el nombre de la estación, la altura de la antena y se selecciona la máscara de elevación ( $10^\circ$  o  $15^\circ$ ) para que el equipo no tome datos de satélites situados por debajo de esa altura de horizonte

A continuación se efectúa la toma de datos GPS. La toma de datos será de unos 10 minutos dependiendo del número de satélites disponibles sobre el horizonte, así como de la distancia del receptor móvil al receptor fijo, y de las pérdidas de ciclo que se ocasionen. El GDOP nos proporcionará un indicador de la geometría de los satélites, cuanto más próximo sea a 1, mejor será la geometría disponible.



***Equipo móvil: ejemplo de punto de apoyo***

Mientras el receptor adquiere los datos de los satélites, se realiza el croquis del punto de apoyo observando la imagen del entorno en la fotografía con un cuentahílos (este es un detalle importante ya que el operador que restituya sólo conocerá del terreno aquello que vea a través de las fotografías y no la zona del terreno tal como la observamos en campo). Se ha de indicar sobre el croquis si la altura se ha tomado al suelo o a otra referencia para que no exista ambigüedad altimétrica en el posado del índice sobre el

punto de apoyo. Por ejemplo se indicará en una tapia si la cota es a suelo o a la parte superior de la misma. A continuación se pincha sobre la fotografía el punto de apoyo y se rotula su número en la imagen con un lápiz grueso. Posteriormente nos desplazaremos al resto de los puntos de apoyo repitiendo el proceso.

Con el método el método diferencial estático rápido se utilizan tiempos de observación de 10-12 minutos. 2.3 Datos obtenidos Al finalizar el trabajo de campo, en el terminal del equipo GPS móvil quedan almacenados en ficheros digitales, con el nombre de fichero que se haya introducido para el trabajo, el identificador y las coordenadas WGS-84 de los vértices geodésicos (mínimos) y de las bases de nueva implantación.

Del mismo modo habrán quedado registrados los datos de las observaciones realizadas sobre los puntos de apoyo. De cada punto de apoyo tendremos un croquis y sobre los fotogramas se habrán pinchado con un cuentahílos. 3. Gabinete 3.1 Determinación de los parámetros de transformación de coordenadas WGS-84 a coordenadas ED-50. Al descargar los datos de los receptores GPS obtenemos archivos binarios, que son tratados para obtener un fichero RINEX (fichero en formato ASCII) capaz de ser leído por cualquier software de cálculo GPS. En estos ficheros vienen datos de mensajes de navegación, el estado de los satélites, y los datos de código y fase registrados.

El trabajo en gabinete se centra en el cálculo de los parámetros de transformación que nos permitan transformar coordenadas entre el sistema WGS-84 y el sistema ED-50 con proyección UTM en el huso que corresponda. Con esos parámetros y un sistema de coordenadas local se podrán obtener las coordenadas UTM de

las bases de nueva implantación y de todos los puntos de apoyo observados desde dichas bases. Para la obtención de estos parámetros se necesita un conjunto de puntos con coordenadas en sendos sistemas y un software informático con algoritmos matemáticos que comparando las coordenadas en uno y otro sistema determine esos parámetros.

El cálculo comienza con el volcado de los datos desde las tarjetas del receptor al ordenador. Para ello debe crearse un proyecto (a modo de carpeta de almacenamiento) donde quedaran registrados los datos de campo. Se debe realizar una comprobación de los datos adquiridos, asegurándose de que se dispone de las observaciones en los vértices geodésicos y en las nuevas bases.

Esta comprobación se puede realizar de forma gráfica o mediante listados. Al cálculo deberán incorporarse los ficheros de coordenadas de los vértices, y deberá indicarse el sistema de referencia de cálculo. Por ejemplo con el programa Ski-Pro que corresponde a equipos GPS de la casa Leica, la opción sería DatumMap: se selecciona como sistema GPS, el proyecto que contiene las coordenadas GPS obtenidas en campo, y como sistema local el conjunto de coordenadas ED-50 generado a partir del ASCII. A continuación se procede a realizar el cálculo de la transformación capaz de pasar coordenadas del sistema inicial (WGS-84) al sistema final (local-UTM).

La transformación seleccionada puede ser una transformación Clásica 3D modelo Bursa-Wolf, Badekas-Molodensky u otra diferente. La transformación BadekasMolodensky toma como origen un centroide situado entre el centro de la tierra y la zona de trabajo, mientras que el modelo Bursa-Wolf toma como origen de la transformación el centro de la Tierra. En los trabajos

topográficos se opta por el modelo Badekas-Molodensky al tratarse de zonas pequeñas, adaptándose mejor a ellas la transformación.

El modelo Bursa-Wolf queda para transformaciones de grandes superficies (países o continentes). En la transformación, si se han observado cuatro vértices geodésicos, tendremos 12 ecuaciones (tres por vértice  $(X,Y,Z)$ ), para 7 incógnitas (3 traslaciones, 3 rotaciones y un factor de escala), quedándonos 5 grados de libertad con posibilidad de cálculo de residuos para cada una de las incógnitas (parámetros). Los valores de los residuos nos dan una idea de la precisión de los parámetros de transformación obtenidos.

Este proceso permite realizar la transformación de sistema de referencia, y define la topografía de enlace con un determinado sistema de referencia previamente elegido. En nuestro caso el sistema de referencia es el proporcionado por los vértices geodésicos. El proceso de georeferenciación se simplifica notablemente utilizando la Red REGENTE. Los puntos de esta red están dotados de coordenadas en el sistema ETRS-89 y en el ED-50.

Transformación de coordenadas WGS-84 / ED-50 De la fase anterior se han obtenido los parámetros de transformación que permiten obtener coordenadas en el sistema local a partir de observaciones GPS. En los ficheros GPS, se tendrán incluidas observaciones de todos y cada uno de los puntos adicionales (además de los vértices geodésicos) observados. Para la obtención de las coordenadas de todos los puntos observados en el sistema local elegido (ED-50), se aplicarán los parámetros de transformación que ya hemos calculado en la fase anterior. Las coordenadas resultantes estarán en el sistema al que correspondan los parámetros de transformación que se han

calculado. El resultado será un listado de coordenadas ED-50 de los puntos de apoyo de la zona de trabajo, que se incorporarán a los croquis, y se entregarán al cliente junto con los fotogramas apoyados.

## 2.2.2 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

### • Definición

Se llama levantamiento topográfico, al conjunto de operaciones ejecutadas sobre el terreno, con los instrumentos adecuados, el levantamiento topográfico necesita una serie de mediciones y triangulaciones, que luego nos permitirá la elaboración del Plano.

### • Historia de Topografía

Según RUSSELL C. BRINKER: “Los registros históricos más antiguos sobre Topografía que existen en nuestros días, afirman que esta ciencia se originó en Egipto. HERÓTODO manifestó que Sesostris (alrededor del año 1400 A.C.) dividió Egipto en lotes para el pago de impuestos. Las inundaciones anuales del río Nilo arrastraron partes de estos lotes y se designaron topógrafos para redefinir los linderos. Estos topógrafos antiguos se les llamaban estiracuerdas, debido a que sus medidas se hacían con cuerdas que tenían marcas unitarias a determinadas distancias.” Las primeras cartas geográficas corresponden a Tales de Mileto y Anaximandro. Erastógenes fue el primero en realizar observaciones astronómicas.

Luego Hiparco creó la teoría de los meridianos convergentes, también se recuerda a Estrabón y Plinio, ellos se consideran los fundadores de la geografía, enseguida el Topógrafo griego Tolomeo actualizó los planos de la época de los Antónimos.

Posteriormente en Europa, se inventan las cartas blancas mejorándose así los trabajos topográficos.

En el siglo XIII con la aplicación de la brújula y el desarrollo de la Astronomía, se descubren nuevas aplicaciones a la Topografía. Con el pasar del tiempo la Topografía se hace cada vez más científica y especializada, esto se debe a que con ella se busca representar la Tierra de un forma real, con la ayuda de los últimos avances de la tecnología como los Sistemas de Posicionamiento Global, la Topografía ha logrado conseguir su propósito gracias a la información captada con dichos sistemas. El desarrollo de la informática y el rayo láser han contribuido de gran manera a la topografía.

El desarrollo de la topografía en América se presenta en los tiempos de la conquista y la colonia, con los trabajos realizados por Mutis, Alexander Von Humboldt y Francisco José de Caldas. Los Estados Unidos tuvo como presidente a un geómetra, George Washington, quien realizó la medición del territorio occidental de la colonia y de las llanuras del otro lado de los montes Apalaches. En América del Sur, la primera vez que se impartió la materia de topografía fue en México en el año de 1792, más tarde se creó la carrera de Ingeniero Topógrafo. En la historia de la Topografía ha pasado una gran lista de Cartógrafos, Geógrafos, Astrónomos, etc., con el fin de lograr representar las verdaderas medidas y formas de un territorio. Las mediciones topográficas aplicadas a obras de ingeniería son tan antiguas como lo es la evolución del hombre, ya que apareció mucho antes que otras ciencias y fue considerada tan sagrada como la medicina y la religión.

## • Uso y operatividad de los equipos GPS en el levantamiento topográfico

El levantamiento topográfico puede realizarse mediante el sistema GPS utilizando el método cinemático en tiempo real RTK (Real Time Kinematic).

Para este levantamiento se utilizan 2 receptores con equipo de radio-modem, un trípode rígido, un bastón y un flexómetro. Un ejemplo de equipo completo estaría compuesto por:

- Receptor de doble frecuencia en modo RTK.
- Baterías (para la estación de referencia y el receptor móvil).
- Antena de doble frecuencia.
- Terminal para receptor GPS.
- Radio-modem.



*Equipo GPS Leica*

Las coordenadas se obtienen en tiempo real con precisión de 20mm + 1ppm. 9.1

## **A. GEOREFERENCIACIÓN: TRANSFORMACIÓN DE SISTEMA DE REFERENCIA**

El proceso de transformación de sistema de referencia se realiza de la misma forma que en el caso anterior. Se seleccionan los vértices geodésicos y se diseña la red básica del trabajo. Se efectúa la observación GPS. En una primera fase de cálculo se obtienen los parámetros de transformación del sistema de referencia GPS al sistema local en el que se han de proporcionar los resultados, apoyándonos en los vértices previamente conocidos en el mismo (en nuestro ejemplo estos vértices son los vértices geodésicos). Posteriormente se aplican dichos parámetros al resto de vértices obteniendo sus coordenadas en el sistema local.

## **B. OBTENCIÓN DE LA NUBE DE PUNTOS**

Para la obtención del levantamiento de detalle, la metodología de observación con GPS en tiempo real, es un método rápido, cómodo y capaz de dar la precisión requerida para el trabajo. El método de trabajo con GPS en tiempo real se compone de un GPS fijo de referencia y un GPS en movimiento. El receptor fijo lo situamos sobre un punto de la red básica, de coordenadas conocidas calculadas en la fase anterior en el sistema de referencia local. Este vértice se denomina como vértice de referencia.



Estación de referencia

La metodología en tiempo real se basa en el cálculo de ambigüedades en el mismo instante de la toma de datos. Tras poner en funcionamiento el receptor de referencia se ha de esperar a que éste resuelva las ambigüedades antes de proceder a la obtención de datos de los puntos del levantamiento. Si el número de satélites sobre el horizonte y su geometría es válida, el receptor de referencia fija ambigüedades en pocos minutos.

Una vez realizada esta operación el cálculo de coordenadas de los demás puntos será instantáneo. La comunicación entre el receptor de referencia y los receptores móviles, es posible gracias al sistema de telecomunicaciones utilizado para la transmisión, con un alcance de 5 Km entre ambos receptores. Para evitar problemas de comunicación entre receptores puede elevarse la antena del receptor de referencia lo máximo posible. El procedimiento para efectuar el levantamiento de detalle con equipos GPS en tiempo real requiere el mismo equipo que para

posicionamientos diferenciales, además de sistemas de transmisión de telecomunicaciones.

Se estaciona el equipo de referencia (fijo) con posicionamiento absoluto indicándole que calcule su posición durante un intervalo de tiempo adecuado (de 15 a 20 minutos) o se introducen sus coordenadas conocidas con anterioridad. El receptor enviará las correcciones (RTCM-RTIME-RTCA) al equipo móvil a través de un sistema de telecomunicación operativo entre ambos receptores.

Las coordenadas de los puntos, se obtienen en el sistema de referencia WGS84. La metodología RTK permite asociar una proyección y un sistema de referencia distinto, podemos obtener las coordenadas de los puntos directamente en la proyección UTM. También podrían obtenerse en cualquier otro sistema de referencia local con respecto al cual se haya realizado la georeferenciación (transformación de sistema de referencia). Las precisiones obtenidas en las coordenadas del levantamiento dependerán de varios factores (precisión de las coordenadas de la red, precisión de los equipos utilizados, errores accidentales cometidos, etc.). De esta forma, la precisión de los puntos del levantamiento puede llegar a ser del orden de 2-3 cm.

El levantamiento se lleva a cabo por dos operarios con dos receptores, uno de referencia y otro móvil. Uno de los operadores se encarga de la toma de puntos con el receptor móvil, mientras que el otro operario va realizando los croquis de la zona, así como anotando el número de punto y su correspondiente descripción, quedando así definido cualquier tipo de elemento a representar. El receptor fijo sólo necesita vigilancia y control de la batería.

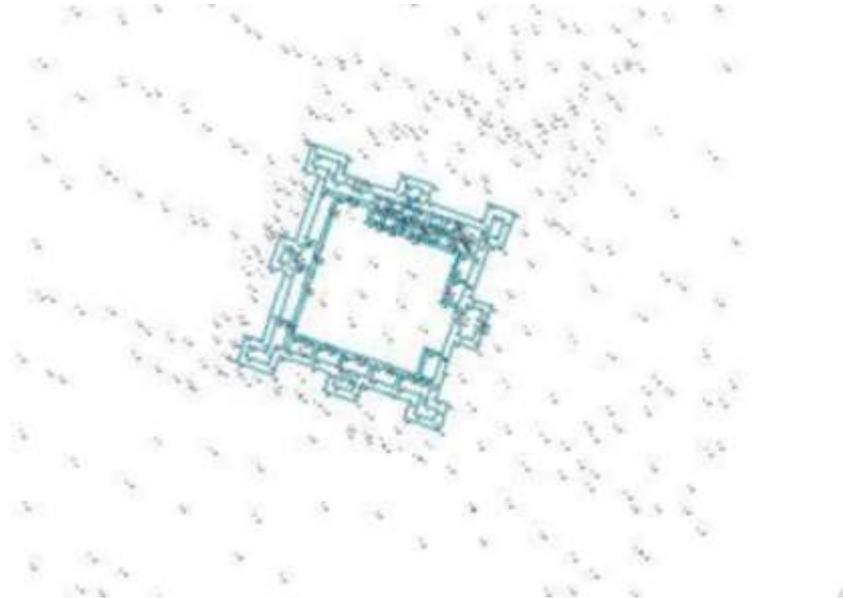


Receptor móvil

En los croquis se definen los elementos artificiales: registros de luz, aceras, carreteras, los elementos naturales: árboles, roquedos y los accidentes del terreno como por ejemplo los taludes, para obtener un buen resultado en la realización del curvado en gabinete. El levantamiento de una carretera se efectuaría mediante perfiles transversales, tomando en cada uno de ellos los diferentes elementos que la componen (mediana, isletas de vial, arcenes, farolas, borde del asfalto y los puntos del talud en los que variaba la pendiente).

Para obtener las cotas del terreno necesarias para realizar posteriormente el curvado de la zona, se toman una serie de puntos de relleno, dando una mayor densidad de puntos en las zonas donde la topografía del terreno es más variable. Al final de cada día los puntos observados en campo se importan al ordenador, observando la nube de puntos para asegurar el haber cubierto toda la zona a levantar y evitando que queden zonas sin

el número de puntos adecuado para una buena edición posterior.  
A continuación mostramos un ejemplo de los puntos levantados:



Ejemplo de nube de puntos

### **C. EDICIÓN CARTOGRÁFICA O ADQUISICIÓN DE DATOS**

La captura de datos es el primer paso en el proceso de producción cartográfica. Una vez listados todos los puntos tomados en campo, se exportan a formato ASCII, desde el programa de cálculo GPS. Con el fichero ASCII, se importan los datos al programa de cálculo topográfico, y desde él a formato DXF, para comenzar a trabajar desde el programa Microstation, en formato DGN, o dwg en Autocad. De esta manera se obtiene la nube de puntos en un fichero de diseño 3D, con el cual poder realizar las operaciones necesarias para la obtención del mapa.

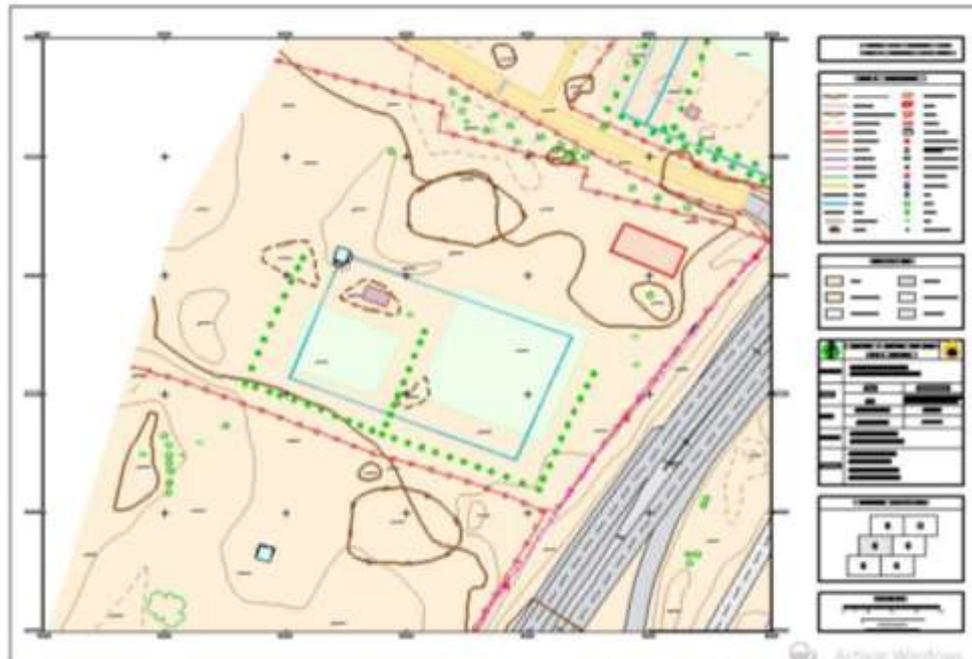
#### **Producción cartográfica**

En este proceso se prepara la simbología clasificando los símbolos según entidades (puntuales, lineales y superficiales) acordes con los croquis de la zona realizados en el campo. Establecida la simbología que va a utilizarse, se efectúa el

curvado para determinar el relieve. Las curvas pueden someterse a procesos de generalización, aplicándoles suavizados, correcciones y modificaciones para una mejor comprensión del relieve y obtener un buen aspecto visual. Se determina el perímetro de toda la zona y a continuación se realiza el proceso de edición del plano.

Representada toda la zona de trabajo, se procede a la distribución de las hojas, obteniendo una mayor manejabilidad en el tratamiento de la información obtenida. Dependiendo de las dimensiones de la hoja se define el diseño de la cuadrícula, el marco y la leyenda, teniendo siempre en cuenta la escala de trabajo y el formato de salida. Una vez realizado todo el proceso de edición, se lleva a cabo la revisión de las hojas, en donde se corrigen los posibles errores cometidos, comprobando los siguientes aspectos:

- Diseño de la simbolización
- Elaboración de las curvas de nivel
- Selección de puntos acotados
- Distribución y diseño de las hojas
- Prioridad en la superposición de capas Como resultado final de todos los procesos anteriores se obtiene la cartografía, pudiendo ser su formato tanto digital como en papel.



Ejemplo de cartografía final

### **Modelo digital y curvado del terreno**

En la actualidad los modelos digitales tienen interés propio, además de permitir la realización del curvado cartográfico. Es por ello por lo que nos detenemos en su estudio. Definiremos el modelo digital del terreno como una “representación continua de la superficie de la Tierra, seleccionando un gran número de puntos de los cuales sus coordenadas XYZ son conocidas y representadas en un sistema arbitrario de coordenadas”, o una “representación digital del terreno en forma adecuada para su procesamiento informático”. Básicamente consiste en utilizar una metodología y un algoritmo matemático que permita:

- Calcular la cota en cualquier punto del terreno
- Generar curvas de nivel Los datos de entrada disponibles son las coordenadas XYZ de cada uno de los puntos tomados en campo. La calidad de estos datos será fundamental para conseguir un buen modelo matemático del terreno, se habrán

seleccionado en campo los puntos que mejor representen el terreno y se habrá realizado una distribución uniforme en la toma de los puntos, con una mayor densidad de éstos en las zonas donde se puedan producir mayores indeterminaciones. A la hora de realizar la malla de triángulos del terreno, tendremos que definir los tipos de puntos tomados en campo para la creación del MDT, para obtener el mejor comportamiento posible en el modelo:

- Puntos de relleno - Puntos con coordenadas XYZ necesarios para la creación del modelo. Los triángulos que se forman en el modelo tienen sus vértices en estos puntos.
- Líneas de ruptura - Están definidas por una serie de puntos e indican un cambio brusco en las características del terreno. Éstas son cabeza y pie de talud, límite de asfalto, etc. Los lados de los triángulos se apoyan sobre estas líneas y nunca las atraviesan.

A partir de las entidades anteriormente definidas se genera el modelo digital del terreno MDT, guardándose la superficie representada en un fichero, en el cual se aprecia cómo los lados de los triángulos respetan las entidades definidas apoyándose en las líneas de ruptura del modelo, como hemos comentado anteriormente. Con el modelo generado se efectúa un control visual de la forma del terreno, para tratar de localizar los posibles errores residuales que se pudieran generar, como brusquedad en las elevaciones y depresiones. Una vez realizada la malla de triángulos, se genera el curvado obtenido por interpolación lineal en cada uno de los triángulos que conforman la malla. Utilizando este método se obtienen todos los puntos que forman las curvas que son consecuencia de la intersección de planos horizontales con las aristas de los triángulos. La representación del relieve se puede efectuar mediante curvas de nivel con una cierta

equidistancia, por ejemplo de 0.5 metros en una escala de representación 1:500, complementadas con una serie de puntos acotados.

*A las curvas obtenidas se les puede aplicar los siguientes procesos para obtener mejores resultados:*

- Suavizado de las curvas de nivel – Es un proceso automático, de esta manera eliminamos picos y ángulos de las curvas de nivel muy visibles en la representación de la escala del proyecto. Así mejoramos tanto la visualización como la correspondencia de las curvas con el terreno, ayudando a una buena percepción por parte del usuario del plano.
- Corrección manual de las curvas – A pesar del suavizado automático de las curvas, en algunos tramos de ellas hay que realizar correcciones, como puede ser la inserción de más vértices en las curvas para generar un aspecto más lineal, o quitar posibles ángulos que dan un aspecto poco realista de las curvas. Todo esto se realiza respetando en todo lo posible el curvado inicial.
- Rotulación manual de curvas de nivel maestras – Se realiza una corrección de la posición de los rótulos de algunas curvas, debido que los textos colocados de forma automática no siempre respetan las normas cartográficas de toponimia. El curvado se importa al fichero gráfico y se obtiene la cartografía (apartado anterior) o bien se crea un fichero digital para otros tratamientos.

## • Operatividad de los GPS en los levantamientos topográficos

Para realizar las operaciones en los equipos GPS para el levantamiento topográfico, este debe estar compuesto por satélites distribuidos en seis órbitas polares diferentes, situadas a 2,169 kilómetros (11 000 millas) de distancia de la Tierra; cada satélite la circunvala dos veces cada 24 horas. Por encima del horizonte siempre están “visibles” para los receptores GPS por lo menos 4 satélites, de forma tal que puedan operar correctamente desde cualquier punto de la Tierra donde se encuentren situados. Una representación de la cantidad de satélites vista por los receptores GPS que en ese punto de la tierra el receptor GPS recibe la señal de 12 satélites.

Los receptores GPS detectan, decodifican y procesan las señales que reciben de los satélites para determinar el punto donde se encuentran situados y son de dos tipos: portátiles y fijos. Los portátiles pueden ser tan pequeños como algunos teléfonos celulares o móviles. Los fijos son los que se instalan en automóviles o coches, embarcaciones, aviones, trenes, submarinos o cualquier otro tipo de vehículo.

El monitoreo y control de los satélites que conforman el sistema GPS se ejerce desde diferentes estaciones terrestres situadas alrededor del mundo, que rastrean su trayectoria orbital e introducen las correcciones necesarias a las señales de radio que transmiten hacia la Tierra. Esas correcciones benefician la exactitud del funcionamiento del sistema, como por ejemplo las que corrigen las distorsiones que provoca la ionosfera en la recepción de las señales y los ligeros cambios que introducen en las órbitas la atracción de la luna y el sol. El funcionamiento del sistema GPS se basa también, al igual que los sistemas electrónicos antiguos de navegación, en el principio matemático

de la triangulación. Por tanto, para calcular la posición de un punto será necesario que el receptor GPS determine con exactitud la distancia que lo separa de los satélites. Con la aplicación del principio matemático de la triangulación podemos conocer el punto o lugar donde nos encontramos situados, e incluso rastrear y ubicar el origen de una transmisión por ondas de radio. El sistema GPS utiliza el mismo principio, pero en lugar de emplear círculos o líneas rectas crea esferas virtuales o imaginarias para lograr el mismo objetivo.

Desde el mismo momento que el receptor GPS detecta una señal de radiofrecuencia transmitida por un satélite desde su órbita, se genera una esfera virtual o imaginaria que envuelve al satélite. El propio satélite actuará como centro de la esfera cuya superficie se extenderá hasta el punto o lugar donde se encuentre situada la antena del receptor; por tanto, el radio de la esfera será igual a la distancia que separa al satélite del receptor. A partir de ese instante el receptor GPS medirá las distancias que lo separan como mínimo de dos satélites más. Para ello tendrá que calcular el tiempo que demora cada señal en viajar desde los satélites hasta el punto donde éste se encuentra situado y realizar los correspondientes cálculos matemáticos.

Todas las señales de radiofrecuencias están formadas por ondas electromagnéticas que se desplazan por el espacio de forma concéntrica a partir de la antena transmisora. Debido a esa propiedad las señales de radio se pueden captar desde cualquier punto situado alrededor de una antena transmisora. Las ondas de radio viajan a la velocidad de la luz, es decir, 300 mil kilómetros por segundo (186 mil millas por segundo) medida en el vacío, por lo que es posible calcular la distancia existente entre un transmisor y un receptor si se conoce el tiempo que demora la señal en viajar desde un punto hasta el otro. Para medir el

momento a partir del cual el satélite emite la señal y el receptor GPS la recibe, es necesario que tanto el reloj del satélite como el del receptor estén perfectamente sincronizados. El satélite utiliza un reloj atómico de cesio, extremadamente exacto, pero el receptor GPS posee uno normal de cuarzo, no tan preciso. Para sincronizar con exactitud el reloj del receptor GPS, el satélite emite cada cierto tiempo una señal digital o patrón de control junto con la señal de radiofrecuencia. Esa señal de control llega siempre al receptor GPS con más retraso que la señal normal de radiofrecuencia. El retraso entre ambas señales será igual al tiempo que demora la señal de radiofrecuencia en viajar del satélite al receptor GPS. La distancia existente entre cada satélite y el receptor GPS la calcula el propio receptor realizando diferentes operaciones matemáticas. Para hacer este cálculo el receptor GPS multiplica el tiempo de retraso de la señal de control por el valor de la velocidad de la luz. Si la señal ha viajado en línea recta, sin que la haya afectado ninguna interferencia por el camino, el resultado matemático será la distancia exacta que separa al receptor del satélite.

Las ondas de radio que recorren la Tierra lógicamente no viajan por el vacío sino que se desplazan a través de la masa gaseosa que compone la atmósfera; por tanto, su velocidad no será exactamente igual a la de la luz, sino un poco más lenta. Existen también otros factores que pueden influir también algo en el desplazamiento de la señal, como son las condiciones atmosféricas locales, el ángulo existente entre el satélite y el receptor GPS, etc. Para corregir los efectos de todas esas variables, el receptor se sirve de complejos modelos matemáticos que guarda en su memoria. Los resultados de los cálculos los complementa después con la información adicional que recibe también del satélite, lo que permite mostrar la posición con mayor exactitud.

Para ubicar la posición exacta donde nos encontramos situados, el receptor GPS tiene que localizar por lo menos 3 satélites que le sirvan de puntos de referencia. Para detectar también la altura a la que se encuentra situado el receptor GPS sobre el nivel del mar, tendrá que medir adicionalmente la distancia que lo separa de un cuarto satélite y generar otra esfera virtual que permitirá determinar esa medición. Si por cualquier motivo el receptor falla y no realiza las mediciones de distancias hasta los satélites de forma correcta, las esferas no se interceptan y en ese caso no podrá determinar, ni la posición, ni la altura. El DGPS (Differential GPS), o GPS diferencial, es un sistema que proporciona a los receptores GPS correcciones de los datos recibidos de los satélites GPS, con el fin de proporcionar una mayor precisión en la posición calculada. Se concibió fundamentalmente debido a la introducción de la disponibilidad selectiva (SA). El fundamento radica en el hecho de que los errores producidos por el sistema GPS afectan por igual (o de forma muy similar) a los receptores situados próximos entre sí. Los errores están fuertemente correlacionados en los receptores próximos.

Un receptor GPS fijo en tierra (referencia) que conoce exactamente su posición basándose en otras técnicas, recibe la posición dada por el sistema GPS, y puede calcular los errores producidos por el sistema GPS, comparándola con la suya, conocida de antemano. Este receptor transmite la corrección de errores a los receptores próximos a él, y así estos pueden, a su vez, corregir también los errores producidos por el sistema dentro del área de cobertura de transmisión de señales del equipo GPS de referencia.

• **Tipos de Levantamientos:**

Un levantamiento topográfico es una representación gráfica, la cual cumple con todos los requerimientos que necesita un

constructor para ubicar un proyecto en el terreno, ya que éste proporciona una representación completa del relieve y de las obras existentes. Permite trazar mapas o planos de un área, en los cuales aparecen las principales características físicas del terreno, tales como ríos, lagos, caminos, etc.; y las diferencias de altura de los diferentes relieves, tales como valles, llanuras, colinas o pendientes.

Dentro de la topografía se pueden realizar diferentes tipos de levantamientos, los cuales son los siguientes:

- Levantamientos de tipo general (lotes y parcelas)
- Levantamiento longitudinal o de vías de comunicación
- Levantamientos de minas
- Levantamientos hidrográficos
- Levantamientos catastrales y urbanos
- Levantamientos topográficos de mediana extensión
- Levantamientos para proyectos de ingeniería
- Levantamientos terrestres, aéreos y por satélite
- Levantamientos de control
- Levantamientos de construcción

**La topografía se divide en dos grandes áreas que son la Planimetría y la Altimetría.**

#### **Planimetría:**

La planimetría es la representación de todos los detalles interesantes del terreno sobre una superficie plana, la cual es la superficie media de la Tierra; en esta parte de la Topografía se estudia el conjunto de métodos y procedimientos para fijar las posiciones de puntos proyectados en un plano horizontal, sin tomar en cuenta sus elevaciones, ya que aquí no importan las diferencias relativas de las elevaciones entre los diferentes puntos

del terreno. Es decir se representa el terreno visto desde arriba o en planta. Según Barrera Pablo Javier: “La ubicación de los diferentes puntos sobre la superficie de la Tierra se hace mediante la medición de ángulos y distancias a partir de puntos y líneas de referencia proyectadas sobre un plano horizontal.

El conjunto de líneas que unen los puntos observados se denomina Poligonal Base y es la que conforma la red fundamental o esqueleto del levantamiento, a partir de la cual se referencia la posición de todos los detalles o accidentes naturales y/o artificiales de interés. La poligonal base puede ser abierta o cerrada según los requerimientos del levantamiento topográfico. Como resultado de los trabajos de planimetría se obtiene un esquema horizontal.”

#### **Altimetría:**

La altimetría es el conjunto de operaciones, cuyo objetivo principal es determinar la diferencia de alturas entre diferentes puntos situados en el terreno, las cuales representan las distancias verticales medidas a partir de un plano horizontal de referencia.

Según Barrera Pablo Javier “La determinación de las alturas o distancias verticales también se puede hacer a partir de las mediciones de las pendientes o grado de inclinación del terreno y de la distancia inclinada entre cada dos puntos. Como resultado se obtiene el esquema vertical.” Mediante la altimetría se logra representar el relieve del terreno, esta representación se la hace por medio de planos con las curvas de nivel, perfiles, etc.

- **Equipos e Instrumentos de Campo:**

**Teodolito:**



El teodolito es un instrumento de medición mecánico-óptico que sirve para medir ángulos verticales y horizontales con gran precisión. Con ayuda de una mira y mediante la taquimetría, se puede medir distancias y con otras herramientas auxiliares también se pueden medir desniveles. Este instrumento es portátil y manual, y está hecho para fines topográficos e ingenieros, sobre todo en las triangulaciones.

Básicamente, el teodolito es un telescopio montado sobre un trípode y con dos círculos graduados, uno vertical y otro horizontal, en los cuales se miden los ángulos con ayuda de lentes, posee, además, un sistema de niveles que tiene la función de verificar que la plataforma se encuentre completamente horizontal y una plomada óptica que sirve para la puesta precisa en estación del instrumento.

El retículo del teodolito consta de cuatro hilos: vertical, superior, medio e inferior, el primero sirve para ubicar de forma precisa, el punto donde se desea hacer la medición, mientras que los otros

tres son sirven para calcular la distancia horizontal y el desnivel desde la estación al punto. En la actualidad se utiliza el teodolito electrónico, el cual es más moderno y sofisticado ya que estos pueden leer y registrar automáticamente ángulos horizontales y verticales, eliminando de esta manera errores de apreciación, además es más fácil su uso y debido a que requiere menos piezas es más simple su fabricación y en algunos casos su calibración.

*El teodolito electrónico presenta algunas ventajas frente al teodolito tradicional, por esta razón en la actualidad se ha eliminado su uso:*

- “Los círculos pueden centrarse instantáneamente apretando simplemente un botón, o bien pueden inicializarse a cualquier valor con un teclado.
- Los ángulos pueden medirse en valores crecientes, ya sea hacia la izquierda o hacia la derecha, y
- Los ángulos medidos por repetición pueden sumarse para proporcionar el total, aun cuando la marca de 360° se haya pasado una o varias veces. Otras ventajas son que las equivocaciones al leer ángulos se reducen considerablemente, la velocidad de operación se incrementa y el costo de producción estos instrumentos es menor.” Según RUSSELL C. BRINKER.

Alineación de un teodolito:

El proceso para alinear un teodolito es el siguiente:

- Ajustar la posición de las patas del trípode levantando y moviendo el teodolito hasta que la visual de la plomada óptica quede cerca del punto.
- Fijar fuertemente las patas en el terreno, esto es importante para evitar que el instrumento pueda desnivelarse o caerse.

- Centrar la burbuja ajustando la longitud de las patas del trípode y nivelar el instrumento usando los tornillos niveladores.
  - Aflojar el tornillo que sujeta el teodolito al trípode y mover el instrumento hasta que la plomada quede exactamente sobre el punto.
- **Estación total:**



La estación total es un instrumento electro-óptico, cuyo funcionamiento se apoya en la tecnología electrónica. Consiste en la incorporación de un distanciómetro y un microprocesador a un teodolito electrónico.

Según Jimmy Wales: “Algunas de las características que incorpora, y con las cuales no cuentan los teodolitos, son una pantalla alfanumérica de cristal líquido (LCD), leds de avisos, iluminación independiente de la luz solar, calculadora, distanciómetro, trackeador (seguidor de trayectoria) y la posibilidad de guardar información en formato electrónico, lo cual permite utilizarla posteriormente en ordenadores personales.”

Estos instrumentos pueden medir automáticamente ángulos horizontales y verticales, y también distancias inclinadas desde una sola estación, con estos datos pueden calcular instantáneamente las componentes horizontales y verticales de las distancias, las elevaciones y coordenadas, debido a que vienen provistas de diversos programas sencillos, lo que también les permite el replanteo de puntos y cálculo de acimut de manera sencilla y eficaz.

- **Funcionamiento**

Una estación total se compone de las mismas partes y tiene las mismas funciones de un teodolito, la forma de alinearla es igual a un teodolito electrónico. La lectura de las distancias se realiza mediante una onda electromagnética que rebota en un prisma colocado en el punto a medir y regresa, tomando el instrumento el desfase entre las ondas. Para la obtención de coordenadas el instrumento realiza una serie de lecturas y cálculos sobre ellas y demás datos suministrados por el operador.

- **Nivel:**

En toda obra de construcción es necesario tomar niveles o medir desniveles, ya sea para una vivienda, un edificio o la apertura de una calle. Un nivel es un instrumento muy útil para la construcción en general y es utilizado para determinar la horizontalidad o verticalidad de un elemento.

Existen distintos tipos, los más utilizados en topografía son los siguientes:

- Nivel de anteojo
- Nivel de burbuja
- Nivel de mano

- **El Nivel de Anteojo:**



El Nivel de Anteojo se apoya sobre un trípode y puede girar en forma horizontal. Se centra y se nivela el instrumento con un nivel de burbuja incorporado, el cual es circular o tubular. Su función es medir diferencias de altura entre los diferentes puntos de un terreno, para determinar estas diferencias, este instrumento se basa en la determinación de planos horizontales a través de una burbuja que sirve para fijar correctamente este plano y un anteojo que tiene la función de incrementar la visual del observador. Además de esto, el nivel también se utiliza para medir distancias horizontales, basándose en el mismo principio del taquímetro.

**Funcionamiento:**

La lectura de niveles se realiza apuntando el hilo axial del nivel sobre una mira, esta debe permanecer perfectamente vertical al momento de las lecturas. El nivel se utiliza para terrenos de no mucha pendiente, en caso contrario se debe utilizar el teodolito, que puede medir ángulos horizontales y verticales con gran precisión.

- **Nivel de burbuja:**

El nivel de burbuja es un instrumento que se usa en la construcción para determinar un nivel o plano horizontal. Este

aparato consiste en un tubo transparente de cristal o de plástico horizontal lleno de alcohol o éter, que contiene una burbuja de aire en su interior.

- **Nivel de mano:**



Según RUSSELL C. BRINKER: “Es un instrumento óptico que se sostiene con una sola mano y se usa en trabajos de poca precisión y para fines de verificación rápida. Su anteojo es un tubo de latón de unas 6 pulg de largo, con un objetivo de vidrio simple y un ocular. Tiene además un pequeño nivel de burbuja montado sobre una ranura en la parte superior del tubo, y se ve a través del ocular utilizando un prisma o un espejo inclinado a 45°. Tiene un hilo horizontal que cruza el centro del tubo. ”

El instrumento se nivela levantando o bajando el extremo del objetivo, hasta que el hilo horizontal corte en la mitad la burbuja. El nivel de mano con clinómetro permite efectuar medidas aproximadas de ángulos verticales y pendientes.

- **Trípode:**



El trípode es un instrumento que sirve para soportar un equipo de medición como un teodolito o un nivel, su manejo es sencillo, ya que consta de tres patas que pueden ser de madera o de aluminio, las que son regulables para así poder tener un mejor manejo al momento de subir o bajar las patas que se encuentran fijadas en el terreno, en su extremo tienen una punta metálica de forma cónica y en su parte superior una articulación por donde se une a la cabeza. También existen trípodes de patas no ajustables pero son mejores los de patas ajustables, pues es más fácil trabajar en terrenos escarpados y el tipo de patas de longitud fija puede ser ligeramente más rígido.

El plato del trípode consta de un tornillo el cual fija el equipo que se va a utilizar para hacer las mediciones.

- **Mira o Estadía:**

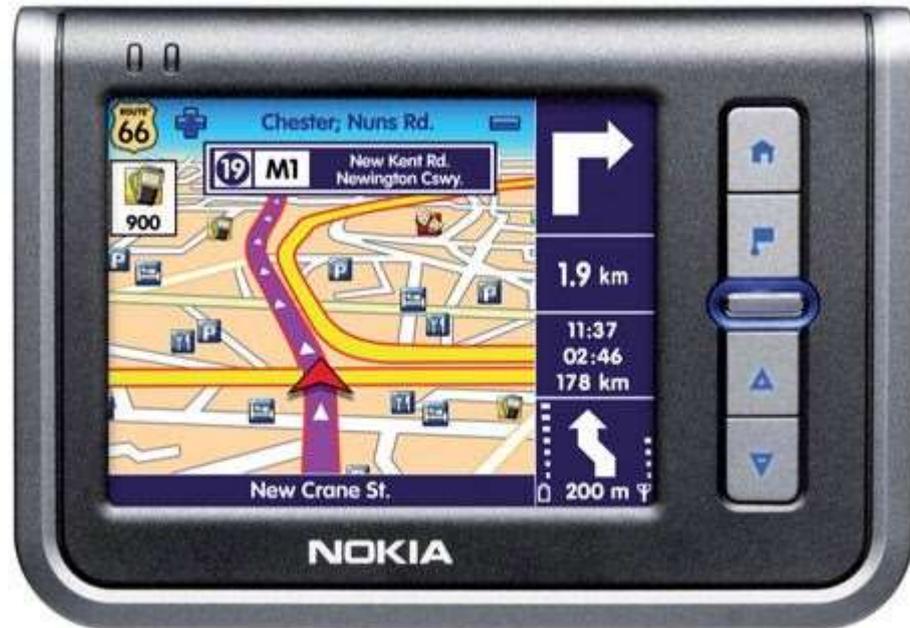


La mira consiste en una regla vertical graduada de cuatro metros de largo, utilizada para medir distancias y calcular alturas, pueden ser de madera, de fibra o de metal. Existen muchas variedades de modelos, colores y graduaciones de una sola pieza, de dos o tres secciones.

Las miras utilizadas en taquimetría suelen llevar la división en cm, las miras usadas en nivelación suelen ir divididas en mm o 2 mm.

La mira también consta de una burbuja que se utiliza para asegurar la verticalidad de ésta en los puntos del terreno donde se desea realizar mediciones, lo que es muy importante para la exactitud en las medidas. Además consta de dos manillas, generalmente metálicas, que sirven para sostenerla.

- **Receptores GPS:**



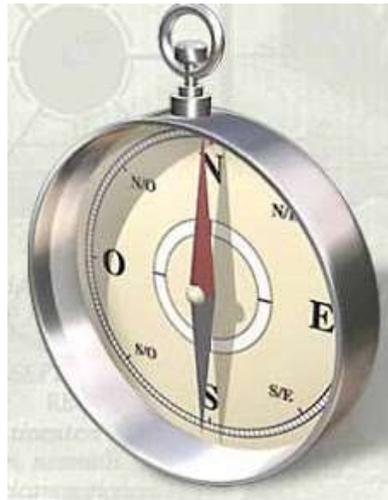
“Desde hace ya varios años las estaciones totales se están viendo desplazadas por el GPS en trabajos topográficos. Las ventajas del GPS topográfico con respecto a la estación total son que, una vez fijada la base en tierra no es necesario más que una sola persona para tomar los datos, mientras que la estación requería de dos, el técnico que manejaba la estación y el operario que situaba el prisma. Por otra parte, la estación total exige que exista una línea visual entre el aparato y el prisma, lo que es innecesario con el GPS.” G.I.S Iberica Equipos de precisión.

Pero no siempre es posible el uso del GPS, ya que en algunas ocasiones es difícil receptor las señales de los satélites por la presencia de edificaciones o bosques muy espesos y existen trabajos que requieren de mayor precisión por lo que todavía es necesario el uso de las estaciones totales.

Los Receptores GPS, permiten realizar levantamientos precisos a muy alta velocidad, a costos significativamente menores que

utilizando métodos de medición tradicionales, como es el caso de la medición de extensiones muy grandes o zonas de difícil acceso con instrumentos topográficos.

- **Brújula:**



La brújula. Según Jimmy Wale “es un instrumento que sirve de orientación, que tiene su fundamento en la propiedad de las agujas magnetizadas. Por medio de una aguja imantada señala el Norte magnético, que es ligeramente diferente para cada zona del planeta, y distinto del Norte geográfico. Utiliza como medio de funcionamiento el magnetismo terrestre.”

El Campo magnético de la tierra ejerce una influencia y logra orientar la aguja en una dirección norte-sur, muy aproximada a la orientación geográfica, por esta razón se habla de un norte magnético y de un norte geográfico. Es imposible el uso de la brújula en las zonas polares norte y sur, debido a la convergencia de las líneas de fuerza del campo magnético terrestre. Como la aguja de la brújula responde a cualquier campo magnético, al usarla hay que cuidar que no esté cerca de objetos grandes de hierro u otro objeto metálico que afecte a la brújula. “La diferencia en grados entre el Norte Geográfico y el Norte Verdadero se llama

declinación magnética y cambia según el lugar de la tierra y según el paso de los años. La esfera de la brújula esta mayormente dividida en 360 partes correspondientes a los grados sexagesimales de una circunferencia: 0° y 360° equivalen al norte, al Este 90°, al Sur 180° y al Oeste ("W" en algunas Brújulas) equivalen a 270°." Club de exportadores.

#### • Errores en las Mediciones Topográficas:

Según RUSSELL C. BRINKER: "Un error es la diferencia entre el valor medido y el valor verdadero de una cantidad, o sea:

$$E = X - x$$

En donde E es el error en una medición, X es el valor medido y x es el valor verdadero."

Todas las operaciones en Topografía están sujetas a las imperfecciones propias de los aparatos, a la capacidad de los operadores de los mismos y a las condiciones atmosféricas; por lo tanto ninguna medida en topografía es exacta. Los errores y las equivocaciones son diferentes, los errores están presentes en toda medición debido a las limitaciones antes manifestadas, las equivocaciones son faltas graves ocasionadas por descuido, distracción, cansancio o falta de conocimientos. En Topografía se debe tratar de minimizar o eliminar las equivocaciones, ya que esto incrementa el tiempo y los costos, afectando la eficiencia y la economía.

Según Barrera Pablo Javier: "Los errores deben quedar por debajo de los errores permisibles, aceptables o tolerables para poder garantizar los resultados los cuales deben cumplir un cierto grado de precisión especificado."

## Causas de los errores:

Los errores se cometen por tres causas y son las siguientes:

Instrumentales: Estos errores son causados por la imperfección en la construcción o ajuste de los aparatos de medida, tales como:

- Las graduaciones de un teodolito pueden no estar debidamente espaciadas, etc.

Personales:

Estos se producen debido a las limitaciones de los observadores u operadores, por sus sentidos, tales como:

- Deficiencia visual
- Mala apreciación de medidas

Naturales:

Estos se deben por variaciones en las condiciones ambientales durante las mediciones como la refracción atmosférica, el viento, la temperatura, la gravedad, la declinación magnética, etc.

Por ejemplo: El cambio de longitud de una cinta de acero debido a la temperatura.

Tipos de errores:

Cuando se realizan cálculos a partir de mediciones tomadas en campo, las cuales tienen errores, se presenta la propagación de esos errores, y estos pueden aumentar y conducir a resultados no esperados.

Los errores cometidos en las mediciones son de dos tipos:

- Sistemáticos
- Accidentales

Errores Sistemáticos o Acumulativos:

Estos incluyen el medio ambiente, los instrumentos y el observador, se pueden mantener constantes o pueden ser variables dependiendo de las condiciones del sistema de medición. Debido a que obedecen leyes físicas y si se conocen las condiciones y las causas de los errores estos pueden ser corregidas. Ejemplos:

- Medición de distancias y desniveles con cinta mal graduadas
- Errores en la alineación
- Mediciones con cintas que han cambiado su longitud por la temperatura

Errores accidentales, aleatorios o compensatorios:

Son los que se cometen por factores que están fuera del control del observador y están presentes en todas las mediciones topográficas ya que no existe forma de eliminarlos. Muchos de estos errores se eliminan porque se compensan, cuando se realizan una serie de mediciones.

Ejemplos:

- Visuales descentradas de la señal por marcas en el terreno
- GEODESIA La Geodesia se ocupa de las mediciones de grandes extensiones de terreno. Los levantamientos geodésicos a diferencia de los topográficos tienen en cuenta la verdadera forma de la tierra por lo que se requiere de gran precisión, este tipo de levantamientos se utilizan para determinar las ubicaciones de señalamientos separados por una distancia bastante grande y para calcular longitudes y direcciones de líneas extensas entre ellos.

Por tratarse de superficies muy grandes la geodesia adopta la verdadera forma elipsoidal de la superficie terrestre. Los levantamientos geodésicos son de alta precisión e incluyen el

establecimiento de los puntos de control primario, los cuales son puntos con posiciones y elevaciones conocidas, que son de gran importancia ya que constituyen redes de apoyo y referencia confiables para todos los demás levantamientos de menor precisión.

### • Sistema de Posicionamiento Global (GPS)

El Sistema de Posicionamiento Global es un sistema de posicionamiento terrestre, el cual está compuesto por 24 satélites situados en una órbita alrededor de la Tierra aproximadamente a unos 20 000 km, y unos receptores GPS. Mediante este sistema se puede determinar nuestra posición en cualquier lugar gracias a la información recibida desde los satélites por los receptores, los cuales una vez procesados los datos nos indican la información. La red de satélites es propiedad del Gobierno de los Estados Unidos de América.

*Según portal de la ciencia y tecnología en español “La Configuración del sistema GPS actual consta de 3 sectores:*

1. Espacial, sobre el cual están todos los satélites ocupados para el seguimiento
2. Control, consta de 5 estaciones desde donde se controlan los satélites, se procesa la información y se sincronizan los relojes de cada satélite.
3. Usuario, comprende a los equipos utilizados por los usuarios finales, para conocer y medir alguna ubicación sobre la tierra.”

Los GPS son exclusivamente receptores de datos que determinan nuestra posición de una manera exacta y no trabajan con ningún dato analógico, son extraordinariamente útiles para seguimiento de rutas, almacenamiento de puntos para posteriores estudios, pero en ningún caso se puede deducir datos atmosféricos a partir de ellos. Utilizando los GPS los ingenieros pueden obtener información necesaria en menos tiempo y con una gran precisión,

información que hubiesen obtenido mediante otros métodos topográficos mucho más complicados y largos, reduciendo el tiempo empleado.

### **Funcionamiento de un receptor GPS**

Los receptores GPS reciben dos tipos de datos:

Datos del Almanaque:

Consisten en un conjunto de parámetros sobre la ubicación y la función de cada satélite en relación al resto de satélites de la red, esta información puede ser recibida desde cualquiera de los satélites y cuando uno de los receptores tiene la información sabe dónde buscar los otros satélites en el espacio.

Datos Efemérides:

Son parámetros exclusivos del satélite que ha sido captado por el receptor y sirven para determinar la distancia exacta entre el receptor y el satélite. Cuando el receptor capta la señal de al menos tres satélites calcula la posición (longitud, latitud y altitud) en la que se encuentra sobre la Tierra por medio de la triangulación entre todos los satélites captados, mientras más satélites capte el receptor más preciso es el cálculo de la posición.

### • **Sistema de Información Geográfica (SIG)**

Según Jimmy Wales: “Un Sistema de Información Geográfica es una integración organizada de hardware, software y datos geográficos diseñado para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión.”

Es, en esencia, un panel con casillas iguales y abiertas, cada casilla representa una determinada área sobre la superficie de la tierra. Cada vez que se identifica información aplicable al área sobre un atributo en particular, como suelo, precipitación, población, etc., se los coloca en la correspondiente casilla. Debido a que no existe un límite de cantidad de información que puede ser colocada en cada casilla se puede almacenar gran cantidad de datos de una forma ordenada.

### **Funcionamiento:**

El funcionamiento de un SIG es como una base de datos la cual contiene información geográfica y está asociada por un identificador a los objetos gráficos de un mapa digital, de esta manera cuando se señala un objeto se puede observar sus atributos.

Un Sistema de Información Geográfica puede ayudarnos a resolver algunos problemas, los principales son los siguientes:

- Localización y características de un lugar concreto.
- El cumplimiento o no de condiciones impuestas al sistema.
- Comparación entre situaciones temporales o espaciales distintas de alguna característica.
- Cálculo de rutas óptimas entre dos o más puntos.
- Detección de pautas espaciales.
- Generación de modelos a partir de fenómenos o actuaciones simuladas.

Pero la principal ventaja de un SIG es que puede procesar y analizar cantidades de información que sería complicado para el manejo manual.

## • Unidades de Medida

Las magnitudes de medida utilizadas en topografía son: longitud, área, volumen y dirección. La longitud se expresa en metros, la cual es la unidad básica del sistema métrico. Las subdivisiones del metro (m) son el milímetro (mm), el centímetro (cm) y el decímetro (dm), 1 metro es igual a 1000 mm, 100 cm y 10 dm. Un kilómetro (km) es igual a 1000 m.

Las áreas se especifican usando el metro cuadrado ( $m^2$ ). En grandes áreas la superficie se da en hectáreas (ha), donde una hectárea equivale a 10000  $m^2$ . Para la medición de volúmenes se utiliza el metro cúbico ( $m^3$ ). Las unidades para medir la dirección son los radianes y los grados, minutos y segundos. Un radián es el ángulo subtendido por un arco de circunferencia, cuya longitud es igual al radio del círculo. Entonces,  $2 \text{ rad} = 360^\circ$ ,  $1 \text{ rad} = 57^\circ 17' 44.8'' = 57.2958^\circ$  y  $0.01745 \text{ rad} = 1^\circ$ . En topografía la unidad de dirección más utilizada es el grado, definido como  $1/360$  del ángulo central de una circunferencia. Un grado ( $1^\circ$ ) es igual a 60 minutos y 1 minuto es igual a 60 segundos. Los segundos se dividen a veces en décimos, centésimos y milésimos. Todas estas unidades son utilizadas por el Sistema Internacional de Unidades (SI), su nombre se debe a que se ha adoptado extensamente en la mayoría de los países.

## 2.3 DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS:

### • Antena:

La antena es el componente de un sistema GPS que graba una señal análoga del satélite GPS y la envía al receptor GPS para su procesamiento. Existe una variedad de antena GPS, desde los aparatos de microbandas más simples a las antenas de anillos

concéntricos (choke ring) que mitigan los efectos de rebote de señal.

**ASCII:**

American Standard Code for Information Interchange. Set de caracteres (letras, números, símbolos) usados para desplegar y transferir datos digitales en el formato inglés estándar.

**Canal:**

Hardware de un receptor que permite al receptor detectar, rastrear y enlazar continuamente la señal de un satélite. Mientras más canales disponibles tiene el receptor, más grande es el número de señales satelitales que un receptor puede rastrear y enlazar simultáneamente.

**Centro de la fase:**

El centro de la fase de una antena GPS es la ubicación física de la antena, donde se observan las señales GPS. Esta es la ubicación física donde se determinará la posición calculada. Las antenas GPS son manufacturadas para ubicar el centro de la fase lo más cerca posible del centro físico de la cubierta de la antena. Para determinar la posición de una marca de medición en el suelo, la antena GPS (y así el centro de la fase), se centra sobre la marca y se mide la altura del instrumento hasta la marca de medición para usar durante el procesamiento.

**Cinemático, Levantamiento:**

En éste tipo de Levantamiento, se coloca un receptor en un punto fijo denominado estación de referencia, y justo después de una operación denominada Calibración que toma un par de minutos, un receptor móvil denominado Rover, mide las coordenadas relativas al punto de referencia con sólo varios segundos de observación, por lo que constituye un método de alto rendimiento.

### **Código C/A:**

Coarse/Acquisition (o Clear/Acquisition), código modulado en la señal GPS L1. Este código es una secuencia de 1023 modulaciones de doble fase binarias pseudoaleatorias a razón de 1.023 MHz, teniendo así un período de repetición de código de un milisegundo. Este código fue seleccionado para proporcionar buenas propiedades de rastreo.

### **Control:**

Al realizar una medición donde una red de puntos recientemente instalada debe unirse a una red local, regional o nacional, se debe incorporar los puntos de control de esta red a la medición. El objetivo es restringir las coordenadas conocidas de estos puntos de control en el ajuste para determinar la posición de nuevos puntos en referencia a la red de control. Si por alguna razón las coordenadas de uno de los puntos de control están incorrectas (error en el ingreso o límite distorsionado), el ajuste se distorsionará al restringir este punto. Para evitar esto, se deberá revisar la exactitud relativa de los puntos de control antes de restringirlos en el ajuste. El control es el proceso que se usa para revisar la exactitud relativa de los puntos de control.

### **Coordenadas Cartesianas:**

Valores que representan la ubicación de un punto en un plano, en relación con tres ejes de coordenadas mutuamente perpendiculares, las cuales intersectan un punto u origen en común. El punto se localiza al medir su distancia desde cada eje a lo largo de un paralelo.

### **Datum Local:**

Es el Sistema Geodésico que se usa oficialmente en una región. Emplea un elipsoide determinado que pasa por un punto específico del cual se conocen con exactitud su deflexión astronómica y su gravedad. Debido a que el centro de masas del modelo Local, no coincide con el centro de masas de la tierra como en el WGS-84, las coordenadas en Datum Local requerirán de transformaciones para convertirlas a WGS-84.

### **Dilución de Precisión (DOP):**

La geometría de los satélites visibles es un factor importante para obtener resultados de alta calidad. La geometría cambia con el tiempo debido al movimiento relativo de los satélites. La medición de la geometría es el factor Dilución de Precisión (DOP). DOP es una descripción del efecto de la geometría satelital en los cálculos de tiempo y posición. Los valores considerados 'buenos' son pequeños, p.ej. 3. Los valores mayores que 7 se consideran pobres. Así, un DOP pequeño se asocia a los satélites ampliamente separados.

### **Disponibilidad Selectiva (SA):**

Programa del Departamento de Defensa que controla la exactitud de las mediciones de pseudodistancia, de tal forma que el usuario recibe una pseudodistancia falsa con un error controlado en magnitud. Las técnicas diferenciales GPS reducen estos efectos para aplicaciones locales.

### **Efemérides:**

Lista de posiciones o ubicaciones de un objeto celestial como una función de tiempo. Disponible como "efemérides transmitidas" o como "efemérides precisas" post-procesadas.

### **Elevación:**

Altura sobre un dátum de referencia. El dátum de referencia puede ser un elipsoide (elevación elipsoidal), un geoide (elevación ortométrica), sobre el nivel del mar o sobre un plano de referencia definido localmente.

### **Elipsoide:**

En la geodesia, a menos que se especifique de otra forma, es una cifra matemática formada al girar una elipse alrededor de su eje menor. A menudo se usa intercambiamente con un esferoide. Dos cantidades definen un elipsoide; estas son normalmente proporcionadas como la longitud del semieje mayor,  $a$ , y el achatamiento,  $f = (a - b)/a$ , donde  $b$  es la longitud del semieje menor.

### **Época:**

Marca de tiempo para un intervalo de medición o frecuencia de datos, por ejemplo, 10 segundos. Es una muestra o medición básica de la señal. El contador de épocas, cuenta la cantidad de veces que se ha tomado una medición. El tiempo entre época suele variar desde 1 a 99 segundos.

### **Error:**

Error causado por confusión, falta de cuidado o ignorancia, incluyendo, pero no limitado a: transposición de números al escribirlos en HI o al leer el HI incorrectamente, ocupando el punto equivocado.

### **Estación:**

Ubicación o punto de la medición donde se graban los datos GPS.

### **Exactitud relativa:**

Exactitud estimada de la posición de un punto en relación a otro punto. La exactitud de las mediciones a menudo se determina al examinar la exactitud relativa de puntos establecidos por las mediciones. Por ejemplo, una especificación de exactitud de 1 parte en 100.000 es una especificación de exactitud relativa. Esta especificación de exactitud define el error permitido entre dos puntos, basada en la distancia que hay entre ellos.

### **Geoide:**

Superficie basada en la gravedad, usada para representar de la mejor forma la superficie física de la tierra.

### **Hora GPS:**

Sistema horario bajo el cual está basado el GPS. La hora GPS es un sistema horario atómico y está relacionado con el Tiempo Atómico Internacional de la siguiente forma: tiempo Atómico Internacional (IAT) = GPS + 19.000 seg.

### **L1:**

Señal de banda L principal emitida por cada satélite NAVSTAR en 1575.42 MHz. La guía L1 es modulada con los códigos C/A y P y con el mensaje NAV.

### **L2:**

Señal de banda L emitida por cada satélite NAVSTAR en 1227.60 MHz y es modulada con el código P y con el mensaje NAV.

### **Latitud:**

Angulo generado por la intersección del semieje mayor del elipsoide de referencia del dátum y el elipsoide normal (línea perpendicular a la superficie del elipsoide) en el punto de interés.

Al definir las coordenadas geodésicas de un punto, la latitud es uno de los elementos posicionales.

**Línea Base:**

Distancia tridimensional del vector entre un par de estaciones para las cuales se han grabado datos GPS simultáneos y procesado con técnicas diferenciales. Es el resultado GPS más exacto.

**Longitud:**

Longitud del arco o porción del ecuador de la tierra entre el meridiano de un lugar dado y el primer meridiano expresado en grados este u oeste del primer meridiano, hasta un máximo de 180 grados.

**PPM:**

Partes por millón.

**Proceso diferencial:**

Es sustraer diferencias entre receptores (diferencia única), luego entre satélites (diferencia doble), y luego entre épocas de mediciones (diferencia triple).

**GPS:**

Tiempo de referencia usado por los satélites GPS. Los satélites continuamente están transmitiendo el tiempo GPS, el cual está varios segundos adelantado con relación al Tiempo Coordinado Universal (UTC).

**UTM:**

Proyección Cartográfica Universal Transversa de Mercator. (Universal Transverse Mercator). Caso especial de la proyección Transversa de Mercator. Abreviado como la Grilla UTM, consiste en 60 zonas, cada una tiene 6 grados de amplitud en longitud.

### **ALTIMETRIA:**

Parte de la Topografía que comprende los métodos y procedimientos para determinar y representar la altura o cota de cada uno de los puntos respecto a un plano de referencia. Con ella se consigue representar el relieve del terreno.

### **PLANIMETRÍA:**

Parte de la Topografía que comprende los métodos y procedimientos que tienden a conseguir la representación a escala, sobre una superficie plana, de todos los detalles interesantes del terreno prescindiendo de su relieve.

### **CÓDIGO:**

Ruido pseudoaleatorio (PRN) modulado en las señales portadoras del GPS. Las mediciones de código, son la base del posicionamiento y navegación con GPS. El código también se utiliza en conjunción con las mediciones de fase portadora con el fin de obtener soluciones de línea base con calidad topográfica más precisa.

### **PLANO:**

Representación gráfica de una superficie y, en virtud de unos procedimientos técnicos, de un terreno o de la planta de un campamento, plaza, fortaleza, etc.

### **ESCALA:**

Relación que existe entre la medida de un segmento sobre el papel y la medida de su homólogo en la realidad. Escala = Plano / Terreno =  $1/D$  (Denominador de la Escala):

### **COORDENADAS:**

Cada una de las magnitudes que determinan la posición de un punto en un sistema de referencia.

### **COORDENADAS FIJAS:**

Coordenadas de un punto que no están sujetas a ajustes y las cuales se les conocen sus exactitudes.

## CAPÍTULO III

### PRESENTACIÓN, ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

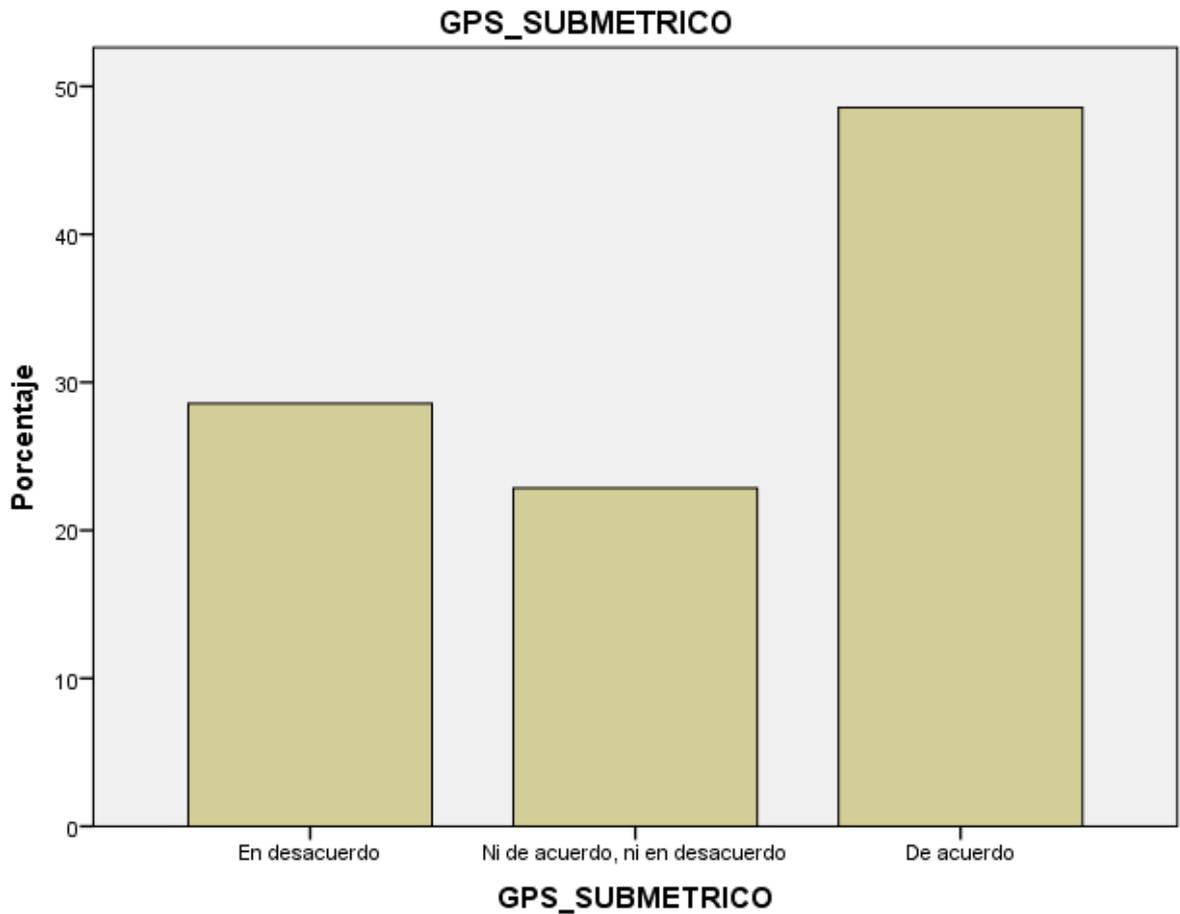
#### 3.1 Análisis cuantitativo de las variables

**TABLA N° 01 : GPS SUBMÉTRICO**

Estadísticos		
GPS_SUBMETRICO		
N	Válidos	35
	Perdidos	0
Media		2,20
Desv. típ.		,868
Varianza		,753

GPS_SUBMETRICO				
	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
En desacuerdo	10	28,6	28,6	28,6
Ni de acuerdo, ni en Válidos desacuerdo	8	22,9	22,9	51,4
De acuerdo	17	48,6	48,6	100,0
Total	35	100,0	100,0	

### GRÁFICO N° 01: GPS SUBMÉTRICO



#### INTERPRETACIÓN:

En la tabla y gráfico N° 01 se observa los resultados de 35 Ingenieros Civiles que representan el 100% de la muestra en estudio, se obtiene que el 48,6% de la muestra en estudio está de acuerdo que se aplique el GPS submétrico para optimizar los procesos de transformación por ello se deben seleccionar los vértices geodésicos en la georeferenciación, el 28,6% está en desacuerdo que en la primera fase de cálculo se obtienen los parámetros de transformación del sistema de referencia GPS y el 22,9% ni está de acuerdo ni en desacuerdo.

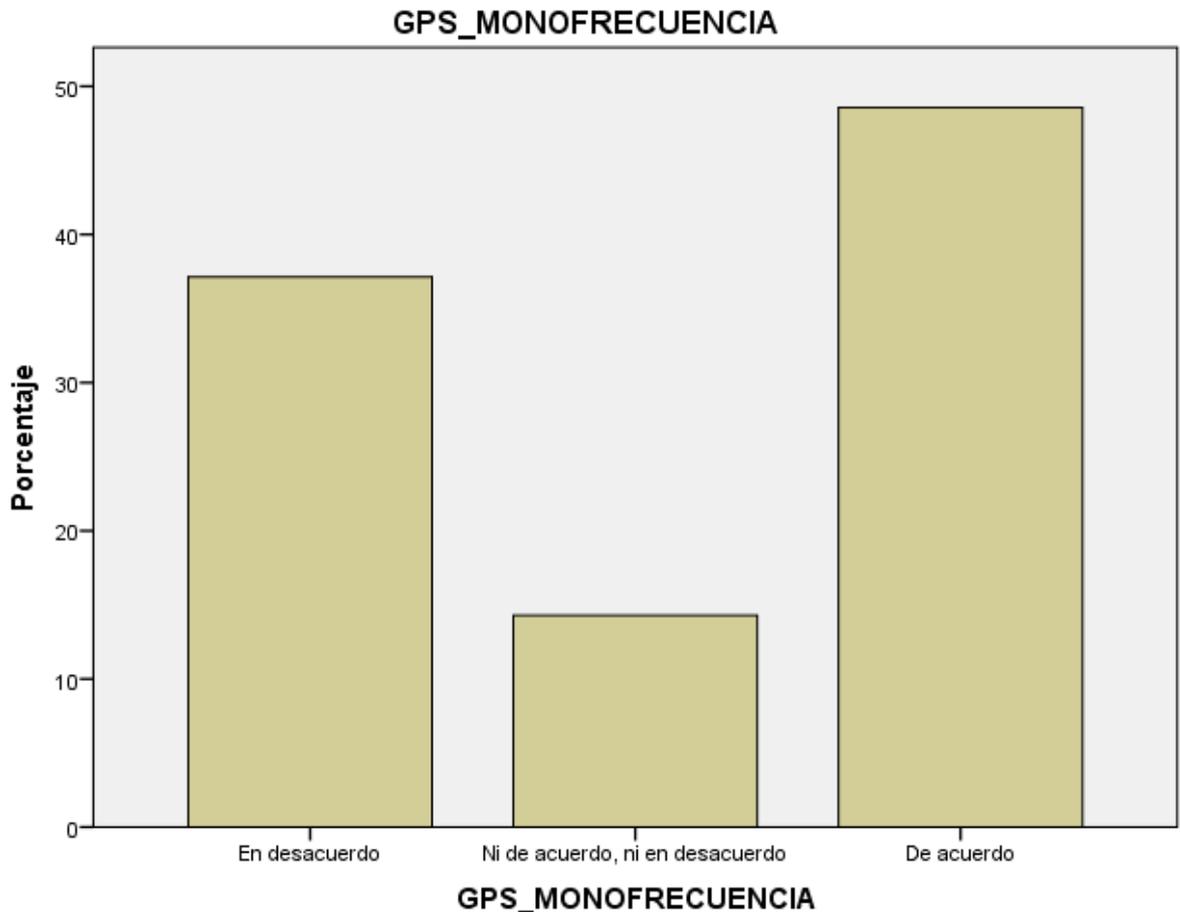
**TABLA N° 02 : GPS MONOFRECUENCIA**

Estadísticos		
GPS_MONOFRECUENCIA		
N	Válidos	35
	Perdidos	0
Media		2,11
Desv. típ.		,932
Varianza		,869

**GPS\_MONOFRECUENCIA**

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	En desacuerdo	13	37,1	37,1
	Ni de acuerdo, ni en desacuerdo	5	14,3	51,4
	De acuerdo	17	48,6	100,0
Total	35	100,0	100,0	

## GRÁFICO N° 02 : GPS MONOFRECUENCIA



### INTERPRETACIÓN:

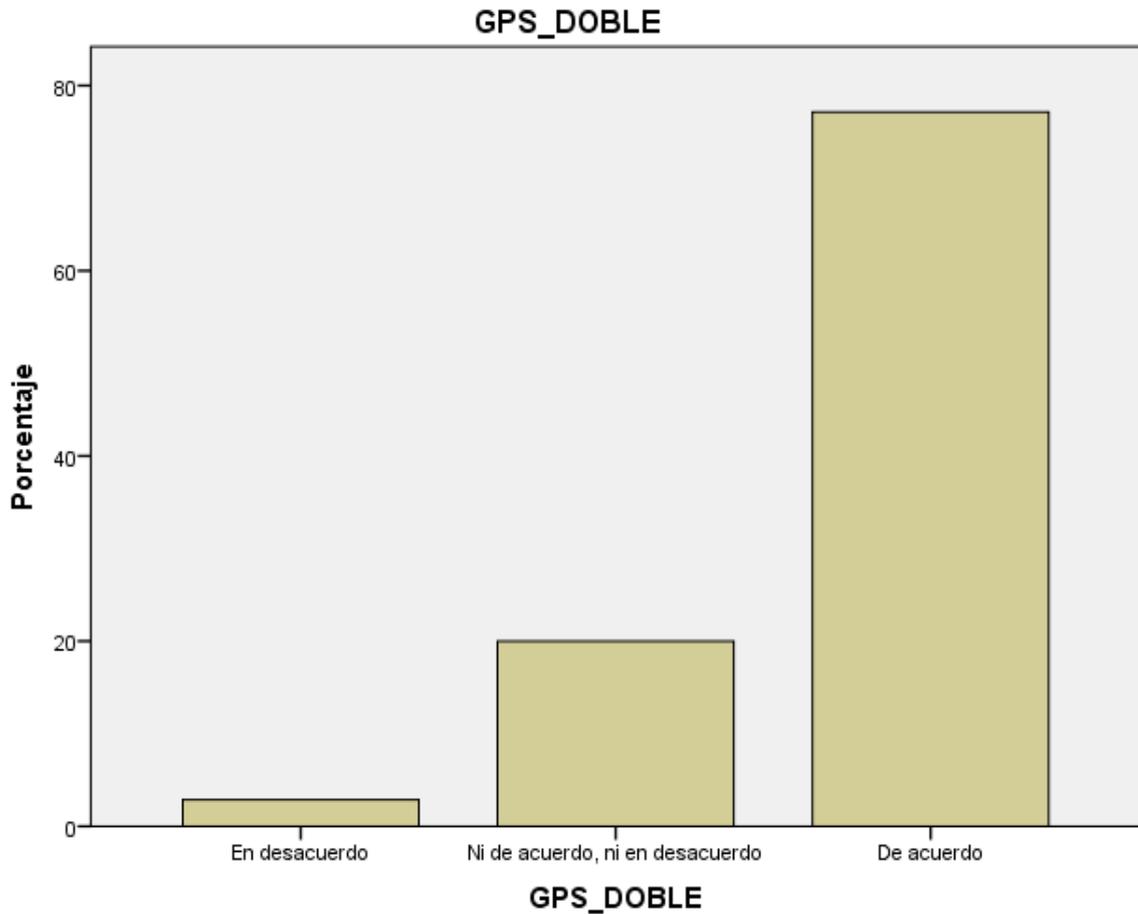
En la tabla y gráfico N° 02 se observa los resultados de 35 Ingenieros civiles que representan el 100% de la muestra en estudio, se obtiene que el 48,6% de la muestra en estudio está en desacuerdo que el GPS monofrecuencia de código y fase optimiza trabajan en modo diferencial en tiempo real, el 37,1% está en desacuerdo y el 14,3% ni está de acuerdo ni en desacuerdo.

**TABLA N° 03 : GPS DOBLE**

Estadísticos		
GPS_DOBLE		
N	Válidos	35
	Perdidos	0
Media		2,74
Desv. típ.		,505
Varianza		,255

GPS_DOBLE				
	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
En desacuerdo	1	2,9	2,9	2,9
Ni de acuerdo, ni en desacuerdo	7	20,0	20,0	22,9
Válidos De acuerdo	27	77,1	77,1	100,0
Total	35	100,0	100,0	

**GRÁFICO N°: 03 GPS DOBLE**



**INTERPRETACIÓN:**

En la tabla y gráfico N° 03 se observa los resultados de 35 Ingenieros civiles que representan el 100% de la muestra en estudio, se obtiene que el 77,1% de la muestra en estudio manifiestan estar de acuerdo que los GPS de doble frecuencia se utilizan en aplicaciones topográfica y también pueden realizar medidas de código, el 20,0% está ni de acuerdo, ni en desacuerdo y el 2,9% está en desacuerdo.

**TABLA N° 04 : GEOREFERENCIACIÓN**

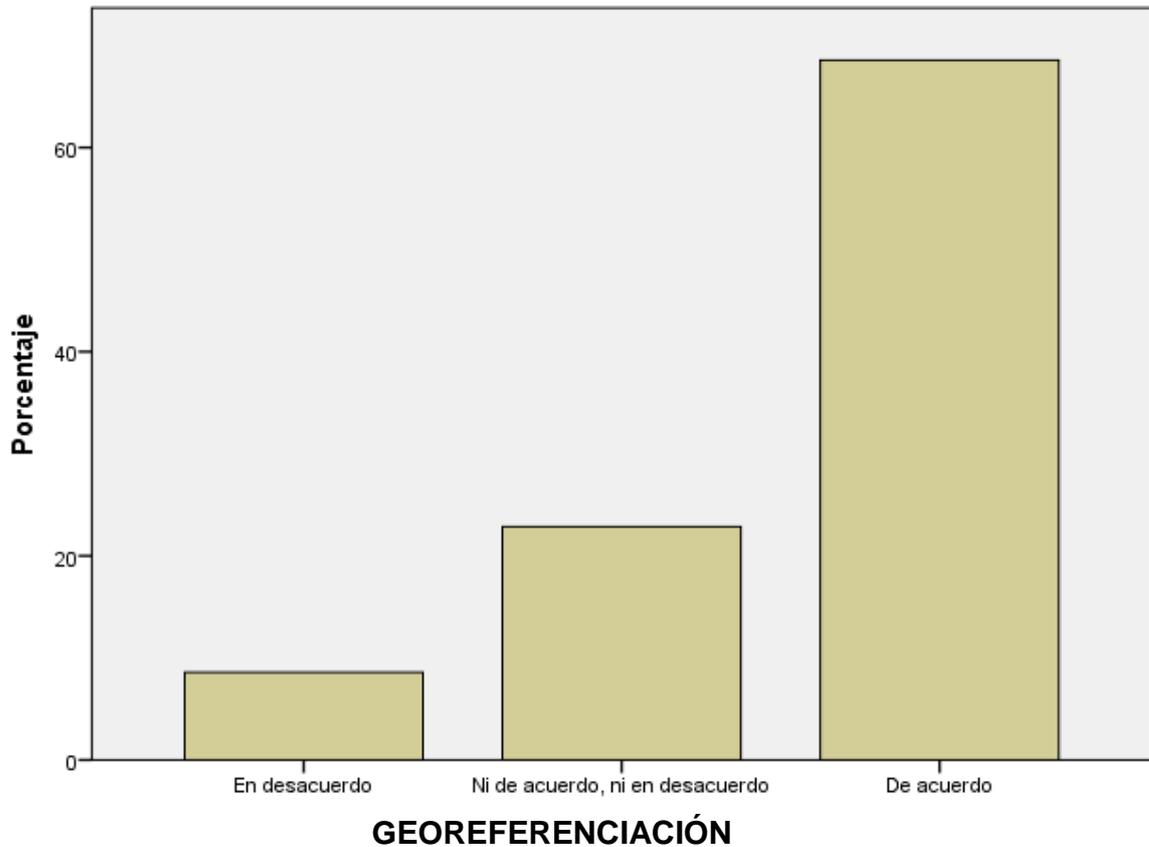
Estadísticos		
GEOREFERENCIACION		
N	Válidos	35
	Perdidos	0
Media		2,60
Desv. típ.		,651
Varianza		,424

**GEOREFERENCIACION**

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
En desacuerdo	3	8,6	8,6	8,6
Ni de acuerdo, ni en Válidos desacuerdo	8	22,9	22,9	31,4
De acuerdo	24	68,6	68,6	100,0
Total	35	100,0	100,0	

## GRÁFICO N° 04 : GEOREFERENCIACIÓN

### GEOREFERENCIACIÓN



#### INTERPRETACIÓN:

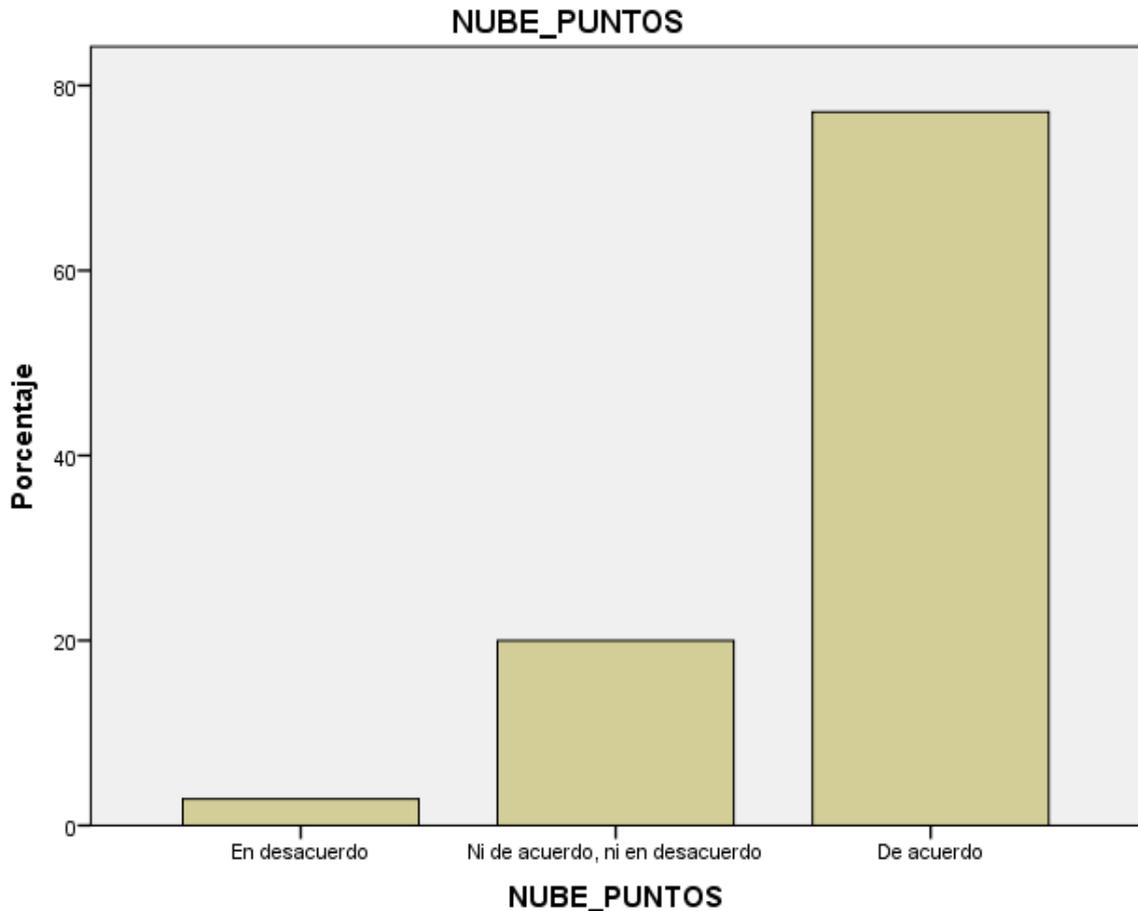
En la tabla y gráfico N° 04 se observa los resultados de 35 Ingenieros civiles que representan el 100% de la muestra en estudio, se obtiene que el 68,6% de la muestra en estudio sustentan que están de acuerdo en que en la fase de cálculo se obtienen los parámetros de transformación tomando en cuenta que considera las coordenadas en el sistema local, el 22,9% está ni de acuerdo, ni en desacuerdo y el 8,6% está en desacuerdo.

### TABLA N° 05 : NUBE DE PUNTOS

Estadísticos		
NUBE_PUNTOS		
N	Válidos	35
	Perdidos	0
Media		2,74
Desv. típ.		,505
Varianza		,255

NUBE_PUNTOS				
	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
En desacuerdo	1	2,9	2,9	2,9
Ni de acuerdo, ni en Válidos desacuerdo	7	20,0	20,0	22,9
De acuerdo	27	77,1	77,1	100,0
Total	35	100,0	100,0	

**GRÁFICO N° 05: NUBE DE PUNTOS**



**INTERPRETACIÓN:**

En la tabla y gráfico N° 05 se observa los resultados de 35 Ingenieros Civiles que representan el 100% de la muestra en estudio, se obtiene que el 77,1% de la muestra en estudio declaran que para la obtención de la nube de puntos se utiliza la metodología de observación, el cálculo de coordenadas es instantáneo y para las precisiones obtenidas en las coordenadas del levantamiento depende solo de precisión en los equipos utilizados, el 20,0% está ni de acuerdo, ni en desacuerdo y el 2,9% está en desacuerdo.

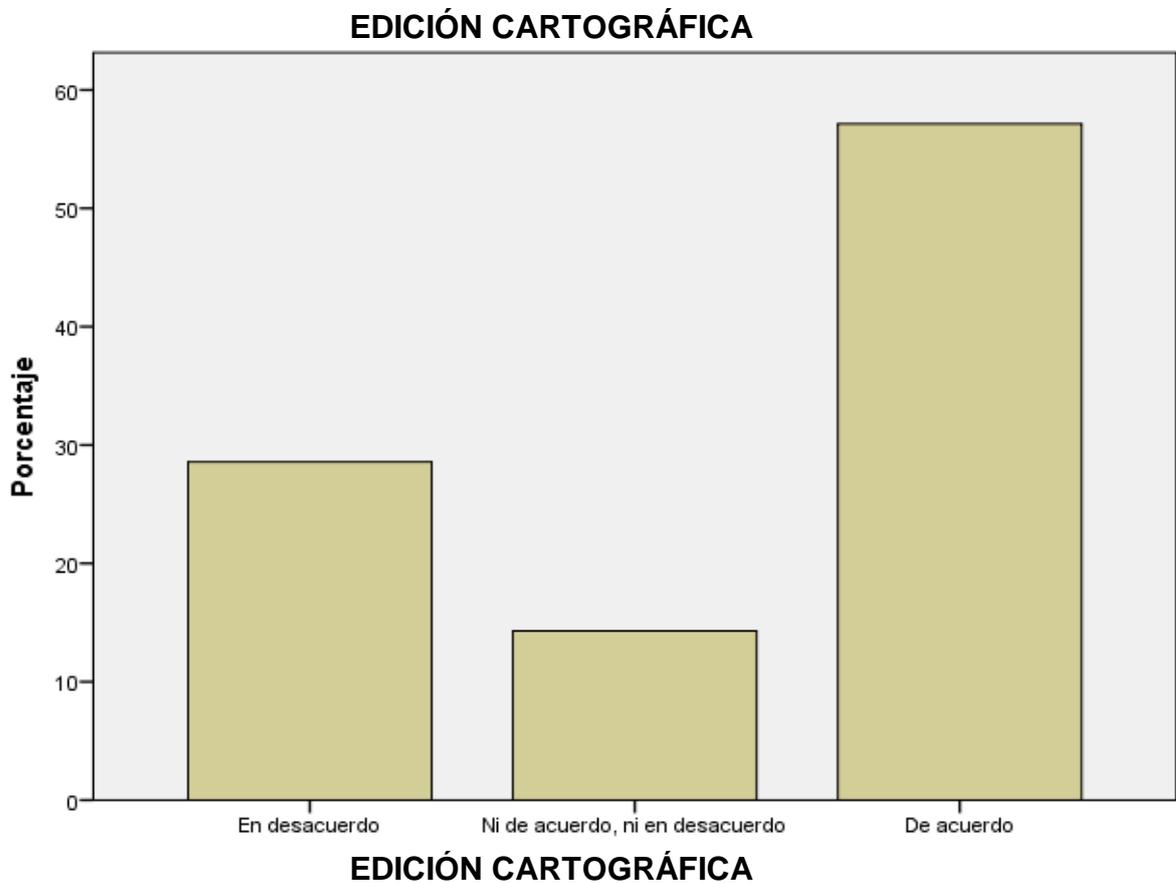
**TABLA N° 07 : EDICIÓN CARTOGRÁFICA**

Estadísticos		
EDICION_CARTOGRAFICA		
N	Válidos	35
	Perdidos	0
Media		2,29
Desv. típ.		,893
Varianza		,798

**EDICION\_CARTOGRAFICA**

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
En desacuerdo	10	28,6	28,6	28,6
Ni de acuerdo, ni en Válidos desacuerdo	5	14,3	14,3	42,9
De acuerdo	20	57,1	57,1	100,0
Total	35	100,0	100,0	

## GRÁFICO N° 07: EDICIÓN CARTOGRÁFICA



### INTERPRETACIÓN:

En la tabla y gráfico N° 06 se observa los resultados de 35 Ingenieros civiles que representan el 100% de la muestra en estudio, se obtiene que el 57,1% de la muestra en estudio sustentan que para la edición cartográfica están de acuerdo que lo primordial es la captura de datos, se puede importar los datos del programa de cálculo como también es eficiente las operaciones que se realizan para la obtención de la producción cartográfica, el 28,6% está en desacuerdo y el 14,3% está en desacuerdo.

## CAPÍTULO IV

### PROCESO DE CONTRASTE DE HIPÓTESIS

#### 4.1 Prueba de hipótesis

##### Prueba de Hipótesis General

##### 1º: Formulación de las Hipótesis Estadísticas y su interpretación.

Ho:  $\rho = 0$

Las aplicaciones GPS influyen en el levantamiento topográfico de las empresas constructoras de Ica, año 2017.

Ha:  $\rho \neq 0$

Las aplicaciones GPS no influyen en el levantamiento topográfico de las empresas constructoras de Ica, año 2017.

2º: Nivel de significación:  $\alpha = 0,94$  (prueba bilateral)

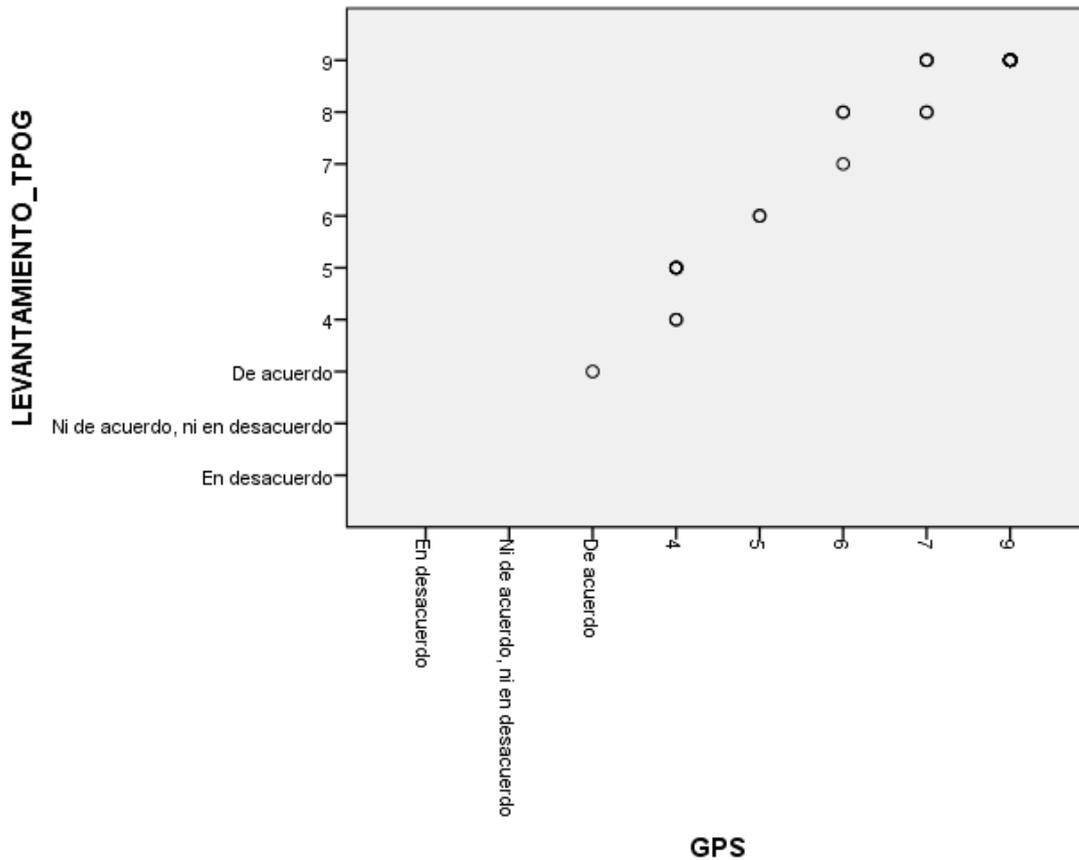
3º: Estadígrafo de prueba: Coeficiente de Correlación Simple y regresión lineal simple. El procesamiento de los datos se realizó con el Software estadístico SPSS versión 22.

## Coeficiente de correlación de Pearson entre las aplicaciones GPS y Levantamiento Topográfico

### Correlaciones

		GPS	LEVANTAMIENTO_TPOG
GPS	Correlación de Pearson	1	,940**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	35	34
LEVANTAMIENTO_TPOG	Correlación de Pearson	,940**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	34	34

\*\* . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).



Los datos recogidos con los instrumentos, se trasladó al programa estadístico SPSS versión 22 y obteniendo como resultado que sí existe una correlación significativa entre las las aplicaciones GPS influyen en el levantamiento topográfico; esta relación representa un 0.940.

El hecho que resulta un valor positivo (el coeficiente de correlación simple) se comprueba que las aplicaciones GPS influyen en el levantamiento topográfico.

#### **5º: Se decide por:**

El programa SPSS 22 refleja un Z calculado de  $18.649 > R_c = 0.94$ , entonces se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alterna ( $H_a$ ). Con estos resultados estadísticos, se puede afirmar que: Las aplicaciones GPS influyen en el levantamiento topográfico de las empresas constructoras de Ica, año 2017, esta influencia es significativamente en un 94.0% pero no determina el comportamiento futuro de las aplicaciones GPS influyen en el levantamiento topográfico de las empresas constructoras de Ica, año 2017.

### **Prueba de Hipótesis Específica**

#### **1º: Formulación de las Hipótesis Estadísticas y su interpretación.**

$H_0: \rho = 0$

Las aplicaciones GPS submétricos influyen en el levantamiento topográfico de las empresas constructoras de Ica, año 2017

$H_a: \rho \neq 0$

Las aplicaciones GPS submétricos no influyen en el levantamiento topográfico de las empresas constructoras de Ica, año 2017

**2º: Nivel de significación:**  $\alpha = 0,90$  (prueba bilateral)

**3º: Estadígrafo de prueba:** Coeficiente de Correlación Simple y regresión lineal simple. El procesamiento de los datos se realizó con el Software estadístico SPSS versión 22.

### Coeficiente de correlación de Pearson entre el GPS submétrico y el Levantamiento Topográfico

**Correlaciones**

		GPS_SUBMET RICO	LEVANTAMIEN TO_TPOG
GPS_SUBMETRICO	Correlación de Pearson	1	,907**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	35	34
LEVANTAMIENTO_TPOG	Correlación de Pearson	,907**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	34	34

\*\* . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Los datos recogidos con los instrumentos, se trasladó al programa estadístico SPSS versión 22 y obteniendo como resultado que sí existe una correlación significativa entre las aplicaciones GPS submetricos y el levantamiento topográfico; esta relación representa un 0.907.

El hecho que resulta un valor positivo (el coeficiente de correlación simple) se comprueba que las aplicaciones GPS submetricos influyen en el levantamiento topográfico.

### 5º: Se decide por:

El programa SPSS 22 refleja un Z calculado de  $18.649 > R_c = 0.90$ , entonces se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alterna ( $H_a$ ). Con estos resultados estadísticos, se puede afirmar que: Las aplicaciones GPS submetricos influyen en el levantamiento topográfico de las empresas constructoras de Ica, año 2017, esta influencia es significativamente en un

90.7% pero no determina el comportamiento futuro de las aplicaciones GPS submetricos en el levantamiento topográfico.

### Prueba de Hipótesis Específica

#### 1º: Formulación de las Hipótesis Estadísticas y su interpretación.

Ho:  $\rho = 0$

Las aplicaciones GPS monofrecuencia de código y fase influyen en el levantamiento topográfico de las empresas constructoras de Ica, año 2017.

Ha:  $\rho \neq 0$

Las aplicaciones GPS monofrecuencia de código y fase no influyen en el levantamiento topográfico de las empresas constructoras de Ica, año 2017.

**2º: Nivel de significación:**  $\alpha = 0,05$  (prueba bilateral)

**3º: Estadígrafo de prueba:** Coeficiente de Correlación Simple y regresión lineal simple. El procesamiento de los datos se realizó con el Software estadístico SPSS versión 22

#### Correlaciones

		GPS_MONOFR ECUENCIA	LEVANTAMIEN TO_TPOG
GPS_MONOFRECUENCIA	Correlación de Pearson	1	,841**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	35	34
LEVANTAMIENTO_TPOG	Correlación de Pearson	,841**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	34	34

\*\* . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Los datos recogidos con los instrumentos, se trasladó al programa estadístico SPSS versión 22 y obteniendo como resultado que sí existe una

correlación significativa entre las aplicaciones GPS monofrecuencia de código y fase, y el levantamiento topográfico; esta relación representa un 0.841.

El hecho que resulta un valor positivo (el coeficiente de correlación simple) se comprueba que las aplicaciones GPS monofrecuencia de código y fase influyen en el levantamiento topográfico.

### **5º: Se decide por:**

El programa SPSS 22 refleja un Z calculado de  $18.649 > R_c = 0.84$ , entonces se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alterna ( $H_a$ ). Con estos resultados estadísticos, se puede afirmar que: Las aplicaciones GPS monofrecuencia de código y fase influyen en el levantamiento topográfico de las empresas constructoras de Ica, año 2017, esta influencia es significativamente en un 84.1% pero no determina el comportamiento futuro de las aplicaciones GPS monofrecuencia de código y fase en el levantamiento topográfico.

### **Prueba de Hipótesis Específica**

#### **1º: Formulación de las Hipótesis Estadísticas y su interpretación.**

$H_0: \rho = 0$

Las aplicaciones GPS doble frecuencia influyen en el levantamiento topográfico de las empresas constructoras de Ica, año 2017.

$H_a: \rho \neq 0$

**2º:** Las aplicaciones GPS doble frecuencia no influyen en el levantamiento topográfico de las empresas constructoras de Ica, año 2017.

**3º: Estadígrafo de prueba:** Coeficiente de Correlación Simple y regresión lineal simple. El procesamiento de los datos se realizó con el Software estadístico SPSS versión 22.

### Correlaciones

		GPS_DOBLE	LEVANTAMIEN TO_TPOG
GPS_DOBLE	Correlación de Pearson	1	,895**
	Sig. (bilateral)		,000
	N	35	34
LEVANTAMIENTO_TPOG	Correlación de Pearson	,895**	1
	Sig. (bilateral)	,000	
	N	34	34

\*\* . La correlación es significativa al nivel 0,01 (bilateral).

Los datos recogidos con los instrumentos, se trasladó al programa estadístico SPSS versión 22 y obteniendo como resultado que sí existe una correlación significativa entre las aplicaciones GPS doble frecuencia y el levantamiento topográfico; esta relación representa un 0.895.

El hecho que resulta un valor positivo (el coeficiente de correlación simple) se comprueba que las aplicaciones GPS doble frecuencia influyen en el levantamiento topográfico.

### 5º: Se decide por:

El programa SPSS 22 refleja un Z calculado de  $18.649 > R_c = 0.89$ , entonces se rechaza la hipótesis nula ( $H_0$ ) y se acepta la hipótesis alterna ( $H_a$ ). Con estos resultados estadísticos, se puede afirmar que: Las aplicaciones GPS doble frecuencia influyen en el levantamiento topográfico de las empresas constructoras de Ica, año 2017, esta influencia es significativamente en un 89.5% pero no determina el comportamiento futuro de las aplicaciones GPS doble frecuencia en el levantamiento topográfico.

## CAPÍTULO V

### DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos confirman las hipótesis planteadas por lo que uso de GPS influyen en la recolección de datos topográficos de las empresas constructoras de Ica, tal como lo demuestran los resultados cuya relación calculada es  $R_c = 0.94$ .

Con la relación obtenida de 0.90 se confirma la primera hipótesis específica en la que el uso de GPS submétricas influyen en el levantamiento topográfico de las empresas constructoras de Ica.

Asimismo con una relación de 0.84 comprobamos la segunda hipótesis específica por lo que se confirma que el uso de GPS monofrecuencia de código y fase influyen en el levantamiento de datos topográficos de las empresas constructoras de Ica.

Finalmente comprobamos con una relación calculado de 0.89 que el uso de GPS doble frecuencia influye en la recolección de datos topográfico de las empresas constructoras de Ica.

## CONCLUSIONES

A partir de las hipótesis planteadas podemos concluir lo siguiente:

Los topógrafos son los primeros en aplicar equipos de sistema de posicionamiento global por que les permite aumentar la productividad a través de la obtención y recolección de datos precisos y fiables en el levantamiento topográfico asimismo permite que se identifiquen las coordenadas referenciales, esta posición es avalada por un 88,36%(R<sup>2</sup>) de especialistas que laboran en las empresas constructoras de Ica.

El 81,0% de los equipos que operan el uso de GPS submétricos contribuyen en la recolección de datos para la elaboración del levantamiento topográfico, ya que permiten almacenar los datos que se van recolectando mediante la georreferencia que puedan almacenarse como datos geoespaciales para el beneficio y optimización de los servicios en las empresas constructora de Ica.

Con un valor de 71% se concluye que el GPS monofrecuencia de código y fase permite recolectar daos para diferenciar los trabajos topográficos valiéndose de los apoyos fotogramétricos para lograr el levantamiento de puntos en las coordenadas sobre el levantamiento topográficos de las empresas constructoras de Ica.

Finalmente podemos concluir que el 79% de los equipos del sistema de posicionamiento global frecuencia en su gran mayoría son utilizados en la recolección de datos topográficos geodésicos, redes topográficas y redes geodésicas de las empresas constructoras de ica.

Para realizar la edición cartográfica primordialmente se debe capturar los datos, a partir del programa calculo como también de operaciones que se realizan para la obtención de la producción cartográfica.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda a las empresas constructoras proveerse de aplicaciones tecnológicas a fin de tener una mayor eficiencia en la recolección de datos para llevar a cabo el levantamiento topográfico así como efectuar un control visual de la forma del terreno, para tratar de localizar los posibles errores residuales que se pudieran generar, como brusquedad en las elevaciones y depresiones.

Asimismo se sugiere que las empresas constructoras mantengan actualizado su software para mejorar la visualización gráfica así como el capacitar a los Ingenieros Civiles en el uso de las tecnologías GPS para que puedan tener óptimos resultados topográficos que servirán de coordenadas para la construcción.

Se sugiere que las aplicaciones GPS monofrecuencia de código y fase sean utilizadas para recolectar datos con la finalidad de mejorar el levantamiento topográfico y que los procesos de construcción se realicen de manera más eficiente.

Por ser una investigación poco estudiada en nuestro medio se sugiere a las autoridades Regionales realizar mas investigaciones sobre este tema a fin de contribuir con conocimiento científico en la mejora de la topografía.

## FUENTES DE INFORMACIÓN

CATURLA, J.L. (1988): Sistema de Posicionamiento Global (GPS). Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, I.G.N. Madrid.

FUENTES FERNANDEZ, Ivan y GRANADO RODRIGUEZ, Daniel (2004): Levantamiento a escala 1/500 de la zona arqueológica de Mleiha, ubicada en el Emirato de Sharjah con receptores GPS. Obtención de un modelo tridimensional del yacimiento arqueológico ML2. Proyecto Fin de Carrera E.U.I.T. Topográfica. Madrid

HOFMANN-WELLENHOF, B.; LIUCHTENEGGER, H.; COLLINS, J. (1994): GPS Theory and Practice. Springer-Verlag, Wien, Austria.

LEICK, A (1995): GPS Satellite Surveying. John Wiley & Sons, Inc. New York.

NUÑEZ-GARCÍA, A.; VALBUENA, J.L.; VELASCO, J. (1992): GPS La Nueva Era de la Topografía. Ediciones de las Ciencias Sociales, S.A. Madrid.

TEUNISSEN, P.J.; KLEUSBERG, A. (1998): GPS for Geodsey. Ed. SpringerVerlag, Germany.

Ayala & Hasbun (2012). Aplicaciones y uso de la tecnología de GPS diferencial de doble frecuencia con precisión centimétrica en el área de levantamiento y replanteo topográfico georeferenciado. Universidad de El Salvador. El Salvador.

Camargo (2011). Estudio y diseño de metodología con técnicas GPS para la actualización de la cartografía catastral del Municipio Palavecino (Venezuela). Universidad Politécnica de Valencia. España.

Alomoto (2013). Levantamiento Topográfico y Catastral del Barrio San Francisco de Baños, de la Parroquia La Merced del Cantón Quito, Provincia de Pichincha. Universidad Central Del Ecuador. Ecuador.

## ANEXOS

**USO DEL GPS Y SU INFLUENCIA EN RECOLECCIÓN DE DATOS TOPOGRÁFICO EN LAS EMPRESAS CONSTRUCTORAS DE ICA**

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES
<p><b>Problema Principal</b></p> <p>¿En qué medida el uso de GPS influye en la recolección de datos topográficos de las empresas constructoras de Ica?</p> <p><b>Problemas Específicos</b></p> <p>¿En qué medida el uso de GPS submétricos influye en la recolección de datos topográfico de las empresas constructoras de Ica?</p> <p>¿ En qué medida el uso de GPS monofrecuencia influye en la recolección de datos topográfico de las empresas constructoras de Ica ?</p> <p>¿ En qué medida el uso de GPS doble frecuencia influye en la recolección de datos topográfico de las empresas constructoras de Ica?</p>	<p><b>Objetivo Principal</b></p> <p>Determinar la influencia de las aplicaciones GPS en el levantamiento topográfico de las empresas constructoras de Ica, año 2017.</p> <p><b>Objetivos Específicos</b></p> <p>Determinar si las aplicaciones de los GPS submetricos influyen en el levantamiento topográfico de las empresas constructoras de Ica, año 2017.</p> <p>Determinar si las aplicaciones de los GPS monofrecuencia de código y fase influyen en el levantamiento topográfico de las empresas constructoras de Ica, año 2017.</p> <p>Determinar si las aplicaciones de los GPS doble influye en el levantamiento topográfico de las empresas constructoras de Ica, año 2017.</p>	<p><b>Hipótesis Principal</b></p> <p>Si se usa GPS entonces influyen significativamente en la recolección topográfico de las empresas constructoras de Ica.</p> <p><b>Hipótesis Específicas</b></p> <p>Si se usa GPS submétricos entonces se influye significativamente en la recolección de datos topográfico de las empresas constructoras de Ica.</p> <p>Si se usa GPS monofrecuencia entonces se influye significativamente en la recolección de datos topográfico de las empresas constructoras de Ica.</p> <p>Si se usa GPS doble frecuencia entonces se influye significativamente en la recolección de datos topográfico de las empresas constructoras de Ica.</p>	<p><b>VARIABLE 1:</b></p> <p>USO DEL GPS</p> <p><b>VARIABLE 2:</b></p> <p>USO EN EL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO</p>	<p>X1: GPS SUBMETRICOS</p> <p>X2: GPS MONOFRECUENCIA DE CODIGO Y FASE</p> <p>X3: GPS DOBLE FRECUENCIA</p> <p>Y1: Georeferenciación</p> <p>Y2: Obtención de la nube de puntos</p> <p>Y3: Edición cartográfica o adquisición de datos</p>

## Anexo 02: Instrumentos

### ENCUESTA SOBRE APLICACIÓN DE GPS

Estimado (a): Agradecemos su gentil participación en la presente investigación para obtener información sobre la aplicación GPS.

El cuestionario es anónimo, por favor responda con sinceridad. Lea usted con atención y conteste marcando con una "X" en un solo recuadro.

#### **Instrucciones:**

En las siguientes proposiciones marque con una x en el valor del casillero que según Ud. Corresponde.

De acuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	En desacuerdo
3	2	1

Dimensiones e Indicadores	1	2	3
<b>GPS SUBMÉTRICOS</b>			
1. ¿Se trabaja diferencialmente, un equipo de referencia y otro móvil en modo cinemático?			
2. ¿Se puede trabajar diferencialmente los GPS submétricos sin utilizar el modo estático?			
3. ¿Existe precisión por debajo de 1 metro?			
<b>GPS MONOFRECUENCIA DE CÓDIGO Y FASE</b>			
4. ¿Los GPS monofrecuencia de código y fase solo trabajan en modo diferencial en tiempo real?			
5. ¿Los GPS monofrecuencia de código y fase son deficientes en el trabajo topográfico?			
6. ¿Se utiliza con frecuencia los apoyos fotogramétricos?			
7. ¿Considera importante el levantamiento de puntos para el trabajo topográfico?			
<b>GPS DOBLE FRECUENCIA</b>			
8. ¿Los GPS doble frecuencia se utilizan solo en las aplicaciones topográficas?			
9. ¿Se puede realizar medidas de código con los GPS doble frecuencia en las aplicaciones geodésicas?			

10. ¿Se puede disminuir el tiempo de observación en las redes topográficas?			
11. ¿Es apropiado utilizar GPS doble frecuencia en redes geodésicas en distancias menores de 20 km.?			

## ENCUESTA SOBRE LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICOS

Estimado (a): Agradecemos su gentil participación en la presente investigación para obtener información sobre el levantamiento topográfico.

El cuestionario es anónimo, por favor responda con sinceridad. Lea usted con atención y conteste marcando con una "X" en un solo recuadro.

### **Instrucciones:**

En las siguientes proposiciones marque con una x en el valor del casillero que según Ud. Corresponde.

De acuerdo	Ni de acuerdo ni en desacuerdo	En desacuerdo
3	2	1

Dimensiones e Indicadores	1	2	3
<b>Georeferenciación</b>			
1. ¿Se puede optimizar el proceso de transformación de sistema de referencia?			
2. ¿Se seleccionan los vértices geodésicos en la Georeferenciación?			
3. ¿En una primera fase de cálculo se obtienen los parámetros de transformación del sistema de referencia GPS?			
4. ¿Considera usted que las coordenadas en el sistema local se obtienen con gran eficacia?			
<b>Obtención de la nube de puntos</b>			
5. ¿Está de acuerdo en utilizar la metodología de observación con GPS en tiempo real?			
6. ¿El receptor de referencia es óptimo para la obtención de datos?			
7. ¿El cálculo de coordenadas de los demás puntos es instantáneo?			
8. ¿Las precisiones obtenidas en las coordenadas del levantamiento dependen solo de precisión de los equipos utilizados?			
<b>Edición cartográfica o adquisición de datos</b>			
9. ¿La captura de datos es el primer paso en el proceso de producción cartográfica?			
10. ¿Se puede importar los datos al programa de cálculo topográfico sin el fichero ASCII?			
11. ¿Es eficiente las operaciones que se realizan para la obtención de la producción cartográfica.			