

CUADERNOS INTEMAC

Sistema de posicionamiento global GPS en trabajos de ingeniería

Global positioning system GPS, technology in engineering

Elisa López-Canti Casas
Ingeniero Superior en Cartografía y Geodesia

Pablo Valdés Fdez. de Alarcón
Ingeniero de Caminos



METIRE UT SCIAS

N.º 58

2.º TRIMESTRE '05

INTEMAC

INSTITUTO TECNICO DE MATERIALES Y CONSTRUCCIONES



METIRE UT SCIAS

INTEMAC

INSTITUTO TÉCNICO DE MATERIALES Y CONSTRUCCIONES

LABORATORIO DE ENSAYOS DE MATERIALES Y CONSTRUCCIONES

CONTROL DE PROYECTO

CONTROL DE OBRA

GARANTÍA DE CALIDAD

(O.C.T.) CONTROL PARA EL SEGURO DE DAÑOS

INFORMES DE PATOLOGÍA, REHABILITACIÓN Y REFUERZOS DE CONSTRUCCIONES

OBRAS PÚBLICAS
EDIFICACIÓN
INSTALACIONES



INTEMAC
A U D I T

AUDITORIA TÉCNICO-ECONÓMICA DE CONSTRUCCIONES

- ASESORÍA EN EL PLANTEAMIENTO Y EN LA CONTRATACIÓN DE LA OBRA
- SEGUIMIENTO DE COSTOS Y PLAZOS DURANTE LA CONSTRUCCIÓN
- VALORACIONES DE TERRENOS, INMUEBLES Y CONSTRUCCIONES
- AUDITORÍAS DE TRABAJOS PARCIALES Y DE LIQUIDACIÓN DE LA OBRA



INTEMAC
E C O

AUDITORÍA TÉCNICA MEDIOAMBIENTAL

CONTROL DE IMPACTO AMBIENTAL

Obras Públicas
Edificación
Instalaciones

CONTROL DE CALIDAD AMBIENTAL

Aire
Agua
Ruido

AUDITORÍA MEDIOAMBIENTAL

ASESORAMIENTO EN MATERIA DE MEDIO AMBIENTE

**SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL GPS
EN TRABAJOS DE INGENIERÍA**

**GLOBAL POSITIONING SYSTEM GPS
TECHNOLOGY IN ENGINEERING**



Elisa López-Canti Casas
Ingeniero Superior en Cartografía y Geodesia
Cartographer and Geodetic Engineer
Intemac's Civil Works Dpt.



Pablo Valdés Fdez. de Alarcón
Ingeniero de Caminos
Civil Engineer
Intemac's Civil Works Dpt.

Copyright © 2005, INTEMAC

Todos los derechos reservados. Ninguna parte de esta publicación puede ser reproducida o distribuida de ninguna manera ni por ningún medio, ni almacenada en base de datos o sistema de recuperación, sin el previo permiso escrito del editor.

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or distributed in any form or by any means, or stored in a data base or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

ISSN 1133-9365

Depósito legal: M-49879-2004

Infoprint, S.A. - San Vicente Ferrer, 40

CONTENTS

1. GPS CONFIGURATION
 - 1.1. SPACE SEGMENT
 - 1.2. CONTROL SEGMENT
 - 1.3. USER SEGMENT
2. DETERMINATION OF THE POSITION OF A POINT ON EARTH
3. GPS SATELLITE ORBITAL MOTION
4. CALCULATING THE EPHEMERIS
 - 4.1. KEPLERIAN PARAMETERS
 - 4.2. DISTURBANCE PARAMETERS
 - 4.3. CALCULATING ANOMALIES
5. CO-ORDINATE TRANSFORMATION
 - 5.1. SATELLITE CO-ORDINATES ON ITS ORBITAL PLANE
 - 5.2. SATELLITE COORDINATES IN AN INSTANTANEOUS GEOCENTRIC SYSTEM
 - 5.3. SATELLITE COORDINATES IN A CONVENTIONAL TERRESTRIAL SYSTEM (WGS 84)
 - 5.4. CO-ORDINATES FOR A POINT ON EARTH IN A LOCAL SYSTEM
6. ERRORS INTRODUCED WHEN WORKING WITH GPS
 - 6.1. ATMOSPHERIC ERRORS
 - 6.2. SELECTIVE AVAILABILITY
 - 6.3. MULTIPATH ERROR
 - 6.4. SATELLITE LOCATION. GDOP
7. GPS APPLICATIONS IN ENGINEERING
8. REFERENCES

ÍNDICE

1. CONFIGURACIÓN DELS SISTEMA GPS
 - 1.1. SECTOR ESPACIAL
 - 1.2. SECTOR CONTROL
 - 1.3. SECTOR USUARIO
2. POSICIONAMIENTO DE UN PUNTO EN LA TIERRA
3. MOVIMIENTO ORBITAL DE LOS SATÉLITES GPS
4. CÁLCULO DE EFEMÉRIDES RADIODIFUNDIDAS
 - 4.1. PARÁMETROS KEPLERIANOS
 - 4.2. PARÁMETROS PERTURBACIONALES
 - 4.3. CÁLCULO DE LAS ANOMALÍAS
5. TRANSFORMACIÓN DE COORDENADAS
 - 5.1. COORDENADAS DEL SATÉLITE DENTRO DEL PLANO DE SU ÓRBITA
 - 5.2. COORDENADAS DEL SATÉLITE EN UN SISTEMA GEOCÉNTRICO INSTANTANEO
 - 5.3. COORDENADAS DEL SATÉLITE EN UN SISTEMA CONVENCIONAL TERRESTRE (WGS 84)
 - 5.4. COORDENADAS DE UN PTO DE LA TIERRA EN UN SISTEMA LOCAL
6. ERRORES AL TRABAJAR CON GPS
 - 6.1. ERRORES ATMOSFÉRICOS
 - 6.2. DISPONIBILIDAD SELECTIVA
 - 6.3. ERROR MULTICAMINO
 - 6.4. SITUACIÓN DE LOS SATÉLITES PDOP
7. APLICACIÓN DEL GPS EN OBRAS DE INGENIERÍA
8. BIBLIOGRAFÍA

ABSTRACT

Space geodetics is based on the observation or reception of electromagnetic signals transmitted by objects not in physical contact with the Earth. The Global Positioning System, GPS, initially developed exclusively for military use, is presently given to civilian applications. In engineering the possibilities are nearly unlimited, in light of the high real-time and post-processing accuracy the technique affords

Accuracy is greatest when working in post-processing mode with differential positioning data collected on dual-frequency P-code receivers operating at L_1 and L_2 frequencies and using carrier-phase timing techniques.

In the description of the GPS system hereunder, the author develops the mathematical formulas used to find the co-ordinates for a point on Earth based on the location of satellites in orbit, discusses how to correct for the most common errors and reviews the applications and advantages of using the GPS system in field engineering.

Space geodetics is based on the observation or reception of electromagnetic radiation transmitted by objects not in physical contact with the Earth. The system presently used in space geodetics is GPS.

The GPS or Global Positioning System allows users to obtain the co-ordinates for any place on Earth, in a given reference system. Initially designed and developed for purely military use and now one of the tools most commonly employed in topographic and geodetic surveying, GPS features three chief advantages:

1. It provides highly accurate measurements
2. It does not require point-to-point visibility.
3. It is not affected by weather conditions.

1. GPS CONFIGURATION

The system can be divided into three main segments

- Space segment
- Control segment
- User segment

1.1. SPACE SEGMENT

The system constellation is NAVSTAR, consisting in 24 satellites located on six orbital planes. These planes are characterized by low eccentricity, near circularity and a 55° incline with respect to the equator; the orbital height of the satellites is 20,180 km and the orbital period is 11h 58 min of sidereal time, so the satellite completes exactly two orbits each sidereal day, which is defined to be the time lapsing between two successive upper transits of the vernal equinox.



RESUMEN

La Geodesia espacial está basada en la observación o recepción de señales de espectro electromagnético, cuando estas señales proceden de objetos no ligados físicamente a la Tierra. El Sistema de Posicionamiento Global, GPS, desarrollado inicialmente para uso exclusivamente militar es actualmente un sistema muy utilizado en el mundo civil, siendo sus aplicaciones en el campo de la ingeniería casi ilimitadas, permitiendo obtener altas precisiones en tiempo real y en postproceso.

Las mayores precisiones se obtienen trabajando en postproceso, en modo diferencial con receptores bifrecuencia que lean las dos portadoras, empleen el código P y trabajen en fase. En este Cuaderno se describe el Sistema GPS, se desarrolla el cálculo matemático para obtener la posición de un punto a partir de la situación de los satélites en su órbita, se describen los errores más frecuentes y la forma de evitarlos, y se indican las aplicaciones y ventajas que supone la utilización del sistema GPS en las obras de ingeniería.

La geodesia espacial está basada en la observación o recepción de radiaciones del espectro electromagnético cuando estas señales proceden de objetos que no están físicamente ligados a la Tierra. El sistema utilizado actualmente en Geodesia Espacial es el GPS.

El Sistema GPS o Sistema de Posición Global permite obtener coordenadas de cualquier punto de la Tierra, en un mismo sistema de referencia. Este sistema, que fue pensado y desarrollado para uso puramente militar, es hoy uno de los más empleados en técnicas topográficas y geodésicas, posee tres grandes ventajas:

1. Permite obtener buenas precisiones
2. No es necesaria la visibilidad entre puntos
3. Las condiciones climáticas no son un problema para realizar el trabajo

1. CONFIGURACIÓN DEL SISTEMA GPS

Lo podemos dividir en tres grandes bloques:

- Sector espacial
- Sector control
- Sector usuario

1.1. SECTOR ESPACIAL

La constelación del sistema es la NAVSTAR, está formada por 24 satélites situados en seis planos orbitales. Estos planos tienen una excentricidad baja, son casi circulares, y su inclinación con respecto al Ecuador es de 55°, la altura orbital de los satélites es de 20.180 Km y el periodo orbital de 11h 58min de tiempo sidéreo, de forma que el satélite completa dos órbitas exactas cada día sidéreo. Recordemos que el día sidéreo es el intervalo de tiempo transcurrido entre dos pasos consecutivos del Equinoccio de primavera por el meridiano superior de un lugar.

Esta situación de los satélites permite que en cualquier punto de la tierra y en cualquier momento haya al menos 4 satélites por encima del horizonte y como máximo 8.

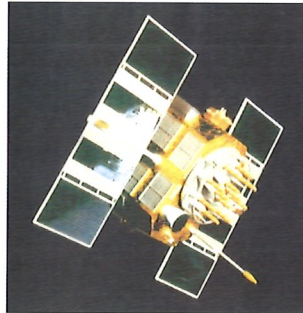
Los elementos del satélite son:

1. Sistemas de reproducción de energía (paneles solares)
2. Sistemas de acumulación de energía (baterías)

With this satellite configuration at least four and at most eight satellites are visible at any given time from anywhere on Earth.

The satellite components include:

1. Energy generation systems (solar panels)
2. Energy accumulation systems (batteries)
3. Transmitter antennae
4. Antennae for receiving signals sent from the control stations
5. Rocket engines, to modify the satellite orbit
6. Stabilizers
7. Hydrogen masers with an accuracy of 10^{-14} , a value that represents their short-term stability, or the scattering of the frequency values recorded in one second



The satellite sends information on its location to the receivers in the navigation message, which is structured around two carriers, L_1 and L_2 . These two carriers generate a 1- to 2-GHz band on the electromagnetic spectrum. The point of using two carriers is to correct for ionospheric signal delay.

Carrier L_1 is transmitted at a frequency of 1575.42 MHz and a wavelength (λ) of 19.05 cm. Carrier L_2 is transmitted at a lower frequency, 1227.60 MHz, and a longer wavelength - 24.45 cm.

Where 10.23 is the fundamental frequency.

Two codes, C/A and P, modulate the L_1 and L_2 carrier phases. These binary codes, defined by polynomials, are used to identify the satellite transmitting the signal and calculate the distance between satellite and receiver.

$$\theta_{aa} = \sum_{i=0}^{n-1} a_i \cdot a_{i+r}$$

If $r = 0$ is a peak
If $r \neq 0$ is a secondary lobe

Each of these polynomial series is assigned to one of the satellites. To recognize the satellite transmitting the signal, the receiver generates a replicate signal and correlates the two.

$$\theta_{ab} = \sum_{i=0}^{n-1} a_i \cdot b_{i+r} \quad \text{Cross correlation function}$$

When the code crosses a certain threshold the satellite is identified.

The navigation message contains information on the ephemeris, satellite almanacs and satellite clock status and is modulated directly in the fundamental frequency, 10.23. Its twenty five 1,500-byte information groups are transmitted at a speed of 50 bauds (bits/sec).

1.2. CONTROL SEGMENT

There are four earth-based monitoring stations sited near the equator at regular longitudinal intervals, and one

3. Antenas que emiten las señales
4. Antenas que permiten recibir las señales que se envían desde las estaciones de control
5. Motores cohete, permiten introducir modificaciones en la trayectoria del satélite
6. Estabilizadores
7. Osciladores de hidrógeno, o másares de hidrógeno, tienen una precisión de 10^{-14} que representa su estabilidad en corto período, es decir la dispersión de los valores de frecuencia en un segundo

El satélite envía a los receptores su situación en el mensaje de navegación, y este mensaje se estructura en base a dos portadoras L_1 y L_2 . Las dos portadoras se generan en la banda del espectro electromagnético que abarca entre 1 y 2 GHz. El hecho de utilizar dos portadoras permite eliminar el retardo de la señal al atravesar la ionosfera.

La portadora L_1 se emite con una frecuencia de 1.575,42 MHz, y una longitud de onda (λ) de 19,05 cm. La portadora L_2 se emite en una frecuencia más baja, de 1.227,60 MHz y mayor longitud de onda de 24,45 cm.

Donde 10,23 es la frecuencia fundamental.

Sobre las portadoras L_1 y L_2 se envían, por modulación dos códigos C/A, P y un mensaje. Los códigos son dígitos binarios que se definen mediante polinomios, permiten identificar el satélite del que proviene la señal y calcular distancia satélite – receptor.

$$\theta_{aa} = \sum_{i=0}^{n-1} a_i \cdot a_{i+r}$$

Si $r=0$ es un Pico
Si $r \neq 0$ es un lóbulo intermedio

Cada una de estas series de polinomios se asigna a un satélite. El receptor para reconocer al satélite del que recibe la señal genera una replica igual, y realiza la correlación de ambas señales.

$$\theta_{ab} = \sum_{i=0}^{n-1} a_i \cdot b_{i+r}$$

Función de correlación cruzada

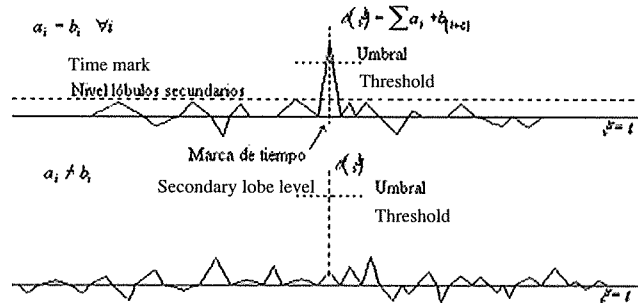
Cuando el código supera un determinado umbral habremos identificado el satélite.

En el mensaje de navegación se emiten las efemérides radiodifundidas, los almanaques de los satélites, el estado del oscilador del satélite, y se modula directamente en la frecuencia fundamental 10,23. Está formado por 25 grupos de información, cada uno de ellos de 1.500 bytes y con una velocidad de transmisión de 50 baudios (bit/sg).

1.2. SECTOR CONTROL

Existen cinco estaciones de seguimiento en la tierra, están regularmente espaciadas en longitud y su situación es conocida con mucha precisión. En ellas se reciben las señales de los satélites en las dos portadoras y se obtiene la información necesaria para conocer la órbita de los satélites y el estado de los osciladores. Estas estaciones se encuentran en Hawaii, Colorado, Ascensión, Kwajalein y Diego García.

master control station: the locations of all five facilities are very accurately defined. These stations compute the satellite orbit and clock status from the signals transmitted on the carriers. The monitoring stations are located at Hawaii, Ascension Island, Kwajalein and the Diego García Atoll and the master control station is in Colorado Springs.



The information gathered is processed at the Master Control Station and the ephemeris computed and sent to the four monitoring stations for relaying back to the satellites.

1.3. USER SEGMENT

The receiving instruments consist of the following components:

Antenna: electromagnetic centre where the signal is captured. This is the point to which the co-ordinates refer.

Preamplifier: amplifies the signal transmitted by the satellite.

Microprocessor: monitors satellite and generates the C/A and P code replicates.

Controller: I/O interface for the micoprocessor.

Memory board: data storage unit.

Battery: place where energy is stored.

Clock: receiver clocks are quartz oscillators and therefore less accurate than the atomic clocks on the satellites.

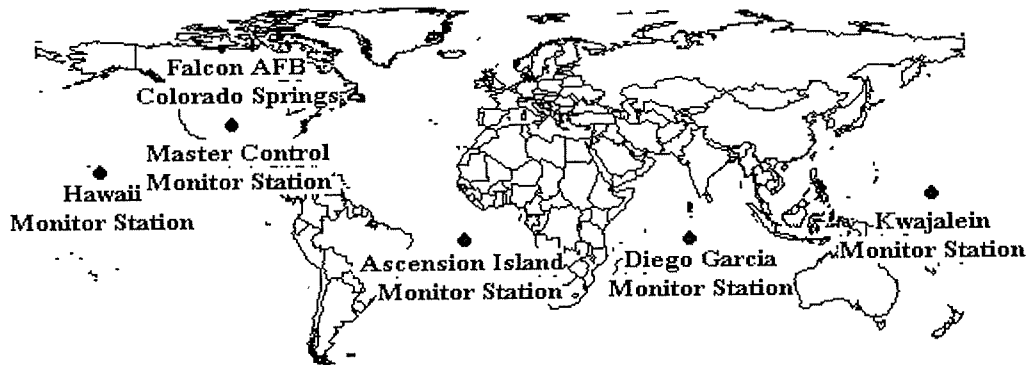
There is a number of types of receivers:

- Receivers that receive C/A code only and only one frequency.
- Receivers that work at two frequencies and perform carrier phase tracking.
- Receivers that work with two codes – C/A and P – and at two frequencies: these are the most accurate instruments and the ones used in Topography and Geodetics.

2. DETERMINATION OF THE POSITION OF A POINT ON EARTH

Imagine a sphere whose radius is the distance between the satellite and the point on earth where the receiver is located; the centre of the sphere is the satellite. Now imagine a second sphere intersecting with the first to form a circle, a third sphere cutting across this circle at two points, one of them the point on Earth and the other in outer space, and finally a fourth satellite determining which of these two points is located on Earth. If the satellites and the point on Earth were on the same plane, it would take only three satellites to determine the position of the point, but in three dimensional space the method calls for four satellites.

The error in the measurement of the satellite-receiver ranges is due to the fact that the clock in the receiver is made of quartz and is much less accurate than the hydrogen clocks in the satellites; therefore, the larger the number of satellites in view when the work is performed, the larger is the number of intersecting spheres and the greater the accuracy.



Global Positioning System (GPS) Master Control and Monitor Station Network

La estación de Colorado es la estación central, en ella se procesa la información y se calculan las efemérides, después se envía a Ascensión, Kwajalein y Diego García que se encargan de introducirla en los satélites.

1.3. SECTOR USUARIO

Los instrumentos con los que se realizan las observaciones están formados por los siguientes elementos:

Antena: Centro electromagnético que recoge la señal. Es el punto al que se refieren las coordenadas.

Preamplificador: Amplifica la señal que llega del satélite.

Microprocesador: Permite el control de los satélites y genera la réplica de los códigos C/A y P.

Controladora: Permite la comunicación de entrada y salida de datos con el microprocesador.

Tarjeta de memoria: Es una unidad de almacenamiento de datos.

Batería: Lugar de almacenamiento de energía.

Oscilador: son osciladores de cuarzo y por lo tanto no son tan precisos como los de los satélites.

Los receptores pueden ser de los siguientes tipos:

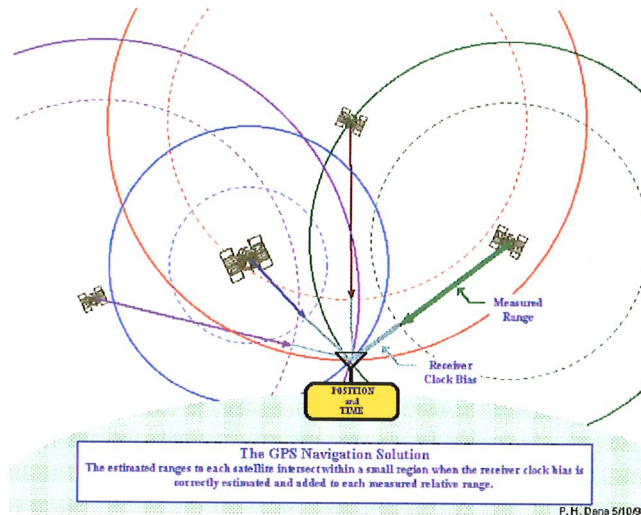
- Receptores que reciben solo el código C/A y una sola frecuencia.
- Receptores que trabajan con dos frecuencias y en medidas de fase.
- Receptores que trabajan con los dos códigos C/A y P y dos frecuencias, estos son los de mayor precisión, son los que se utilizan para realizar trabajos de Topografía y Geodesia.

2. POSICIONAMIENTO DE UN PUNTO EN LA TIERRA

Imaginemos una esfera cuyo radio es la distancia entre el satélite y el punto de la Tierra en el que situamos el receptor, el centro de la esfera es el satélite. Sabemos que dos esferas se cortan formando un círculo, una tercera esfera corta al círculo anterior en dos puntos, uno de ellos el punto de la Tierra y el otro en el espacio exterior, un cuarto satélite nos determina cual de estos dos puntos es el que está situado en la Tierra. Si los satélites y el punto de la Tierra estuviesen situados en un mismo plano solo necesitaríamos tres satélites para conocer la posición de un punto, pero en el espacio tridimensional el método requiere cuatro satélites.

El error que se produce en la medida de distancias satélite – receptor se debe a que el reloj situado en el receptor es de cuarzo y la precisión es mucho menor que la de los osciladores de hidrógeno de los satélites, por lo tanto cuanto mayor sea el número de satélites que haya por encima del horizonte cuando realizamos el trabajo, mayor será el número de esferas que se corten y la precisión aumentará sensiblemente.

La distancia satélite-receptor se obtendrá según sea el observable el código o la fase. En ambos casos se mide el tiempo que tarda la señal en llegar al receptor.



The method for computing the satellite-to-receiver range depends on whether code or carrier phase GPS techniques are used, but both methods involve measuring the time it takes the signal to reach the receiver.

– In code phase GPS:

The receiver generates a signal identical to the one received from the satellite and then “slides” the replicate signal until it synchronizes with the code generated.

The distance calculated from the amount the code has to be slid, called the pseudodistance because the two clocks are not equally accurate, may be expressed as follows:

$$P_j^i = ct$$

Where:

P_j^i : pseudodistance or geometric satellite-receiver range assuming no errors.

t: time lapsing from when the signal leaves the satellite until it reaches the receiver.

If t^i is the instant when the signal is transmitted and T_j the instant when the signal is received, and Et^i and Tt_j the satellite and receiver clock errors, respectively, it holds that:

$$P_j^i = c(T_j - t^i)$$

since:

$$t^i = T_j - \frac{P_j^i}{c}$$

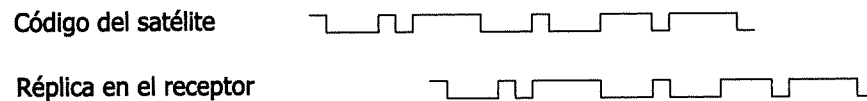
$$P_j^i = c \left[(T_j - Et_j) - \left(T_j - \frac{P_j^i}{c} - Et^i \right) \right]$$

$$P_j^i = P_j^i + c(Et^i - Et_j)$$

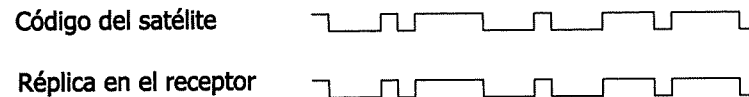
– El observable es el Código:

En el receptor se genera una señal idéntica a la que se recibe del satélite, para sincronizar la réplica del código en el receptor con la recibida del satélite, el receptor aplica un retardo hasta sincronizar ambas señales.

CÓDIGOS NO CORRELADOS



CÓDIGOS CORRELADOS



El tiempo de retardo nos permite calcular una distancia, que llamaremos pseudodistancia puesto que ambos osciladores no tienen la misma precisión.

La distancia será:

$$P_j^i = ct$$

Siendo:

P_j^i : Pseudodistancia o distancia geométrica satélite receptor si no existiesen errores.

t: Tiempo transcurrido desde que la señal sale del satélite hasta que llega al receptor.

Si llamamos t^i al instante en que se emite la señal y T_j al instante en que se recibe la señal, y Et^i y Et_j a los errores de los osciladores del satélite y del receptor respectivamente, entonces:

$$P_j^i = c(T_j - t^i)$$

como:

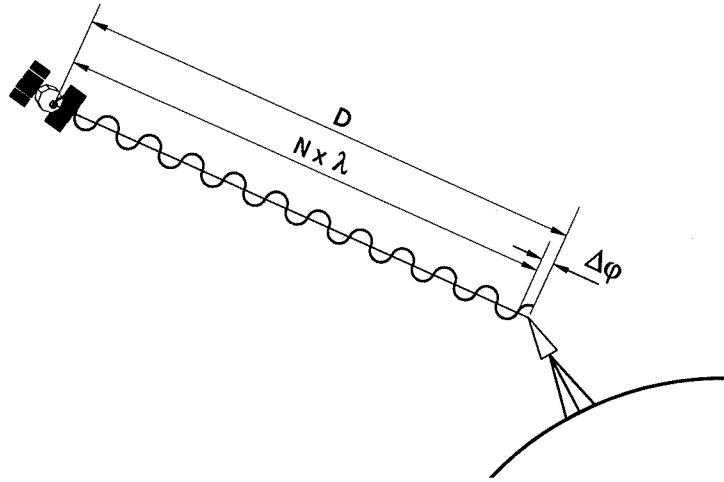
$$t^i = T_j - \frac{P_j^i}{c}$$

$$P_j^i = c \left[(T_j - Et_j) - \left(T_j - \frac{P_j^i}{c} - Et^i \right) \right]$$

$$P_j^i = P_j^i + c(Et^i - Et_j)$$

– In carrier phase GPS:

In this case the carrier signal is compared to a receiver replicate of the same frequency; the two signals are compared and the lag, $\Delta\phi$, is measured. When it reaches the receiver, the carrier wave will have generated a whole number, N , of full cycle wavelengths λ plus part of a wavelength, $\Delta\phi$.



The expression for the distance is:

$$D = \lambda(N + \Delta\phi)$$

The value of $\Delta\phi$ may range from 0° to 360° ; when it reaches 360° the value N of full cycles increases by one. The integer N is the so-called "carrier phase ambiguity", the unknown solved for by calculation.

In field work, it is most important to ensure uninterrupted tracking, i.e., not to lose the phase signal so the initial ambiguity value remains constant.

The code method measures whole cycles only, whereas the phase approach determines the number of full cycles plus the value in degrees of the last incomplete cycle. Consequently, phase measurements are more accurate than code measurements and, naturally, the receivers used for Topography and Geodetics always take phase measurements.

But in addition to gathering the information on orbital alterations and the ephemeris transmitted by the satellites, finding the position of a point on Earth from four or more satellites entails converting the co-ordinates in the orbital plane to a local reference system.

3. GPS SATELLITE ORBITAL MOTION

An ideal satellite orbit may be characterized as follows:

- The Earth is an isotropic sphere with equipotential parallel surfaces.
- The satellite mass is negligible compared to the mass of the Earth.
- Satellite motion takes place in a vacuum; there is no atmospheric friction.
- The gravitational attraction of third bodies is ignored.

Under these conditions the orbit would be a perfect ellipse compliant with Kepler's laws:

1. One of the foci of this ellipse is located at the Earth's centre of mass.
2. The vector joining the Earth's centroid and the satellite sweeps equal areas in equal times.
3. The square of the period, T^2 , is equal to the cube of the orbit's larger semi-axis.

In practice, these conditions are never met because:

- The Earth's surface is irregular, not isotropic; in other words, its equipotential surfaces are not parallel because its mass is unevenly distributed.

- El observable es la fase:

En este caso se compara la señal de la portadora con una réplica del receptor, que tendrá la misma frecuencia, se comparan ambas señales y se mide el desfase $\Delta\phi$. Cuando llega al receptor, la onda portadora habrá generado un número N entero de longitudes de onda λ y una parte de longitud de onda $\Delta\phi$.

La distancia será:
$$D = \lambda(N + \Delta\phi)$$

El valor del desfase $\Delta\phi$ puede variar entre 0° y 360° , al llegar a los 360° el valor N de ciclos enteros se incrementará un valor. Este valor N es la ambigüedad, es una incógnita que se resuelve en el proceso de cálculo.

Es importante que al realizar el trabajo de campo no se pierda el seguimiento de la fase para que la ambigüedad inicial no varíe.

En código se miden ciclos enteros, en fase conocemos los ciclos enteros mas la parte del último ciclo no entero, por lo tanto se obtiene mayor precisión trabajando en medida de fase que en medida de código, y lógicamente los receptores que se utilicen en trabajos de Topografía y Geodesia realizarán siempre medidas de fase.

Pero para obtener la posición de un punto de la Tierra a partir de al menos 4 satélites debemos conocer las alteraciones de la órbita del satélite, las efemérides radiodifundidas por los satélites y que llegan a los receptores además del cálculo necesario para transformar las coordenadas desde el plano de la órbita del satélite hasta un sistema de referencia local.

3. MOVIMIENTO ORBITAL DE LOS SATÉLITES GPS

La órbita ideal de un satélite es aquella que cumple las siguientes condiciones:

- La tierra es una esfera isótropa con superficies paralelas equipotenciales.
- La masa del satélite es despreciable con relación a la de la Tierra.
- El satélite se mueve en el vacío, no existe rozamiento atmosférico.
- No se considera la atracción gravitatoria de terceros cuerpos.

Con estas condiciones la órbita sería una elipse perfecta, que cumple las leyes de Kepler:

1. La órbita del satélite es una elipse en uno de cuyos focos se encuentra el centro de masas de la Tierra.
2. El radio vector que une el centro de masas de la Tierra y el satélite barre áreas iguales en tiempos iguales.
3. El cuadrado del periodo T^2 es igual al cubo del semieje mayor de la órbita.

En la realidad estas condiciones no se cumplen nunca porque:

- La superficie de la Tierra es irregular, no es isótropa, es decir las superficies equipotenciales de la Tierra no son paralelas porque la distribución de la masa de la Tierra no es homogénea.
- La fuerza de atracción entre la Tierra y el satélite es: $F = K \frac{Mm}{r^2}$
- Cuando el satélite está dentro de la atmósfera, está sometido a la fuerza de rozamiento, que depende de:
 - La superficie del satélite.
 - La densidad de la atmósfera.
 - La velocidad del satélite.
- El satélite está sometido a la atracción gravitatoria de terceros cuerpos, como el Sol, la Luna y los planetas.

La órbita verdadera es la envolvente de todas las órbitas imperturbadas u osculatrices, al existir perturbaciones los parámetros de Kepler varían en función del tiempo.

- The force of the attraction between the Earth and the satellite is: $F = K \frac{Mm}{r^2}$
- When inside the atmosphere the satellite is subject to friction, which depends on:
 - Satellite surface area.
 - Atmospheric density.
 - Satellite speed.
- The satellite is subject to the force of gravity exerted by other bodies, such as the Sun, Moon and planets.

The actual orbit is the envelope of all the undisturbed or osculating orbits; the presence of disturbance causes the Kepler parameters to vary over time.

- Disturbed motion is defined by time-dependent Keplerian parameters.
- Atmospheric friction depends on:
 - Satellite geometry and characteristics.
 - Atmospheric density.
 - Atmospheric temperature.
 - Satellite speed and height.
- Solar radiation pressure is directly proportional to the area of the satellite and inversely proportional to its mass.

4. CALCULATING THE EPHEMERIS

The satellite's position is determined by the ephemeris specified in the navigation message transmitted over the carrier.

The ephemeris consist of 16 elements modified every four hours, which is the reference time. Six of these components define the Keplerian orbit of the respective satellite; the other elements can be used to compute disturbance at times other than the reference time. Two further parameters are also needed, GMt (where G is the universal gravitational constant and Mt the Earth's mass) and W_e (angular velocity of the Earth's rotation).

4.1. KEPLERIAN PARAMETERS

- a: larger semi-axis of the orbit.
- e: orbit eccentricity.
- i_0 : inclination of the orbital plane with respect to the equator at the reference instant.
- Ω_0 : right ascension of the ascending node at the reference instant.
- w: argument of perigee - the geocentric angle formed by the ascending node and the perigee.
- Mo: Mean anomaly at the reference instant - the angle that would be travelled by the satellite if its angular velocity were constantly equal to the mean value of motion.

Where the right ascension of the ascending node (Ω_0) and the inclination (i) are known, the inclination of the satellite's orbital plane with respect to the equator can be determined. The parameters needed to find the direction and dimensions of the ellipse are the argument of the perigee (2), eccentricity (e) and inclination (i).

4.2. DISTURBANCE PARAMETERS

- t_0 : reference time.
- t_{obs} : observation time.
- Δn : Variation in mean motion.
- i: time-dependent variation in inclination.
- Ω : time-dependent variation in the right ascension of the ascending node.
- C_{us}, C_{uc} : Amplitude of the harmonic correction of the sine and cosine terms in the argument of latitude.
- c_{us}, c_{uc} : Amplitude of the harmonic correction of the sine and cosine terms in the expression defining the inclination of the orbital plane.
- c_{rs}, c_{rc} : Amplitude of the harmonic correction of the sine and cosine terms defining the orbital radius.
- GMt: universal gravitational constant. Its value is $3986005 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{s}^2$.
- W_e : Earth's angular velocity. Its value is $7292115 \times 10^{-11} \text{ rad/s}$.

- El movimiento perturbado viene definido por los parámetros Keplerianos dependientes del tiempo.
- El rozamiento atmosférico depende de:
 - La geometría y características del satélite.
 - Densidad atmosférica.
 - Temperatura atmosférica.
 - Velocidad y altura del satélite.
- La presión de la radiación solar es directamente proporcional al área del satélite e inversamente proporcional a la masa.

4. CÁLCULO DE EFEMÉRIDES RADIODIFUNDIDAS

La posición del satélite viene dado por las efemérides radiodifundidas dentro del mensaje de navegación, contenido en la portadora.

Las efemérides radiodifundidas consisten en 16 elementos que se modifican cada 4 horas, siendo este el momento de referencia. Con seis de estos componentes se define la órbita Kepleriana del satélite correspondiente, el resto de los elementos permiten calcular las perturbaciones a medida que nos alejamos del momento de referencia. Se requieren además dos parámetros adicionales, estos son GMt (siendo G la constante de gravitación universal, Mt la masa de la tierra) y w_e (velocidad angular de rotación de la tierra).

4.1. PARÁMETROS KEPLERIANOS

- a: semieje mayor de la órbita.
- e: excentricidad de la órbita.
- i_0 : inclinación orbital con respecto al plano ecuatorial en el instante de referencia.
- Ω_0 : Ascensión recta del nodo ascendente en el instante de referencia.
- w: argumento del perigeo. Es el ángulo geocéntrico formado entre el nodo ascendente y el perigeo.
- M_0 : Anomalía media en el instante de referencia. Es el ángulo que recorre el satélite, si su velocidad angular fuese constantemente igual al valor del movimiento medio.

Conociendo la ascensión recta del nodo ascendente (Ω_0), y la inclinación (i), podemos fijar en el espacio el plano de la órbita del satélite con el ecuatorial. El argumento del perigeo (w), la excentricidad (e) y la inclinación (i) nos permiten determinar la orientación y dimensiones de la elipse.

4.2. PARÁMETROS PERTURBACIONALES

- t_0 : Tiempo de referencia.
- t_{obs} : tiempo de observación.
- Δn : Variación del movimiento medio.
- i: Variación de la inclinación respecto al tiempo.
- Ω : Variación de la ascensión recta del nodo ascendente respecto al tiempo.
- C_{us}, C_{uc} : Amplitud de la corrección armónica de los términos seno y coseno del argumento de la latitud.
- C_{is}, C_{ic} : Amplitud de la corrección armónica de los términos seno y coseno de la inclinación del plano orbital.
- C_{rs}, C_{rc} : Amplitud de la corrección armónica de los términos seno y coseno del radio orbital.
- GMt: Constante de gravitación universal. Su valor es $3986005 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{s}^2$.
- w_e : Velocidad angular de la tierra. Su valor es $7292115 \times 10^{-11} \text{ rad/s}$.

4.3. CÁLCULO DE LAS ANOMALÍAS

1. Tiempo transcurrido desde el instante de observación:

$$t = t_{obs} - t_0$$

4.3. CALCULATING ANOMALIES

1. Time lapsing from the observation instant:

$$t = t_{\text{obs}} - t_0$$

2. True anomaly:

$$n_0 = \frac{GMt}{a^3} \quad \text{Mean motion at the reference time.}$$

$$n = n_0 + \Delta n \quad \text{Mean motion at the observation time.}$$

$$M = M_0 + nt \quad \text{Mean anomaly at the observation time.}$$

$$E = M + e \sin E \quad \text{Eccentric anomaly.}$$

$$v = \tan^{-1} \left(\frac{\sin E \sqrt{1-e^2}}{\cos E - e} \right) \quad \text{True anomaly.}$$

3. Argument of latitude:

$$u = v + w + C_{us} \sin 2(w + v) + C_{uc} \cos 2(w + v)$$

4. Calculating the radius vector:

$$r = a(1 - e \cos E) + C_{rs} \sin 2(w + v) + C_{rc} \cos 2(w + v)$$

5. Calculating the inclination:

$$i = i_0 + it + C_{is} \sin 2(w + v) + C_{ic} \cos 2(w + v)$$

6. Calculating the length of the ascending node:

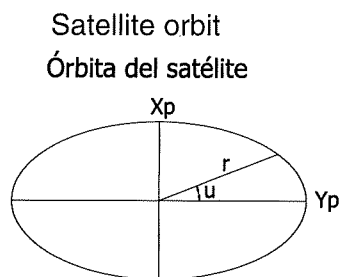
$$\lambda = \Omega_0 + (\Omega - w_e)t - w_e t_0$$

5. CO-ORDINATE TRANSFORMATION

To obtain the satellite's location in a local reference system, the co-ordinates must be transformed from their location on the orbital plane to the local system. This involves the following:

5.1. SATELLITE CO-ORDINATES ON ITS ORBITAL PLANE

The reference system on the orbital plane is a Cartesian system, with the origin in the Earth's centre of mass, which is also the focus of the ellipse; the X axis is the line drawn outward from the origin through the ascending node (point where the satellite orbit crosses the equatorial plane) and the Y axis is at a right angle with the X axis in the direction of the satellite's primary.



2. Cálculo de la anomalía verdadera :

$$n_0 = \frac{GMt}{a^3} \quad \text{Movimiento medio para el momento de referencia.}$$

$$n = n_0 + \Delta n \quad \text{Movimiento medio en el momento de observación.}$$

$$M = M_0 + nt \quad \text{Anomalía media en el momento de observación.}$$

$$E = M + e \quad \text{sen } E \quad \text{Anomalía excéntrica.}$$

$$v = \tan^{-1} \left(\frac{\text{sen } E \sqrt{1 - e^2}}{\text{cos } E - e} \right) \quad \text{Anomalía verdadera.}$$

3 – Cálculo del argumento de la latitud:

$$u = v + w + C_{us} \text{sen}2(w + v) + C_{uc} \text{cos}2(w + v)$$

4 – Cálculo del radio vector:

$$r = a(1 - e \text{cos } E) + C_{rs} \text{sen}2(w + v) + C_{rc} \text{cos}2(w + v)$$

5 – Cálculo de la inclinación:

$$i = i_0 + it + C_{is} \text{sen}2(w + v) + C_{ic} \text{cos}2(w + v)$$

6 – Cálculo de la longitud del nodo ascendente:

$$\lambda = \Omega_0 + (\Omega - w_e)t - w_e t_0$$

5. TRANSFORMACIÓN DE COORDENADAS

Para obtener situación del satélite en un sistema de referencia local, es necesario realizar una transformación de coordenadas desde su situación en el plano de la órbita a dicho sistema de referencia, se deben seguir los siguientes pasos:

5.1. COORDENADAS DEL SATÉLITE DENTRO DEL PLANO DE SU ÓRBITA

El sistema de referencia en el plano de la órbita es un sistema cartesiano, tiene su origen en el centro de masas de la tierra que coincide con el foco de la elipse, el eje X se encuentra en la dirección del nodo ascendente (punto en el que la órbita del satélite corta al plano ecuatorial) y el eje Y forma un ángulo recto con el eje X en la dirección del movimiento creciente del satélite.

5.2. COORDENADAS DEL SATÉLITE EN UN SISTEMA GEOCENTRICO INSTANTANEO

El sistema geocéntrico instantáneo es aquel cuyo origen coincide con el centro de masas de la Tierra, el eje Z está definido por la posición instantánea del eje de rotación de la Tierra, el eje X por la intersección del plano ecuatorial instantáneo con el meridiano de Greenwich y el eje Y forma un sistema dextrorsum con los dos anteriores.

$$X_p = r \cos u \quad Y_p = r \sin u \quad Z_p = 0$$

5.2. SATELLITE COORDINATES IN AN INSTANTANEOUS GEOCENTRIC SYSTEM

The instantaneous geocentric system is the system of co-ordinates in which the Z-axis extends from the Earth's centre of mass outward along its spin axis, the X-axis passes through the intersection of the instantaneous equatorial plane with the Greenwich or prime meridian and the Y-axis is orthogonal to them both.

To obtain the co-ordinates in this reference system, it is rotated at an angle i along the node line until Z_p coincides with the Earth's instantaneous spin axis.

$$X_T = X_p \quad Y_T = Y_p \cos i \quad Z_T = Y_p \sin i$$

The system must then be rotated again on the Z_T axis at an angle λ until the X-axis coincides with the prime meridian.

$$X = X_T \cos \lambda - Y_T \sin \lambda$$

$$Y = Y_T \sin \lambda + X_T \cos \lambda$$

$$Z = Z_T$$

But axis Z in an instantaneous geocentric system is in constant motion due to precession and nutation phenomena. Consequently, an Earth-fixed reference system must be established: this is what is known as the conventional terrestrial system.

5.3. SATELLITE COORDINATES IN A CONVENTIONAL TERRESTRIAL SYSTEM (WGS 84).

In this system of co-ordinates the Z-axis extends from the origin at the Earth's centre of mass outward to the average position of the pole between 1900 and 1905 (CIO Pole), the X-axis cuts across the intersection of the Greenwich meridian and the average equator and the Y-axis is orthogonal to them both.

$$\begin{pmatrix} X_C & Y_C & Z_C \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & x_n \\ 0 & 1 & -y_n \\ -x_n & y_n & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}$$

The values x_n, y_n express the variation of the CIO pole with respect to the instantaneous pole in arc seconds.

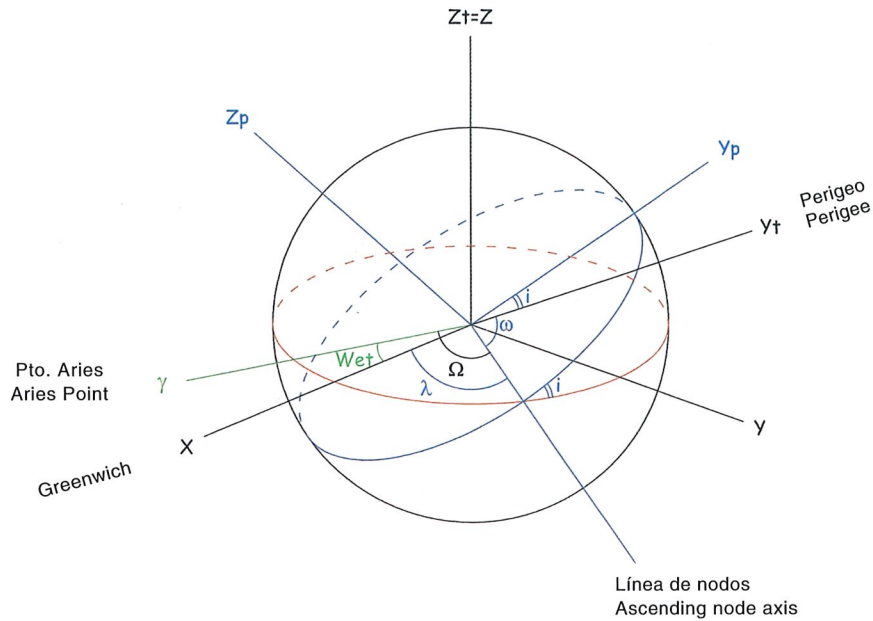
The Conventional Terrestrial System is associated with an ellipsoid with a geocentric spin. In this system, namely the WGS 84 (World Geodetic System 84), the geopotential model represents the Earth's gravitational field. The WGS was established from observations of gravity anomalies, deviations from the vertical, laser observations of satellites, VLBI (very long baseline interferometry) and the like.

Under this system, the position of a point on Earth can be calculated from the co-ordinates for four or more satellites. The Earth-based receivers have specific software that performs the above calculations and automatically provides the co-ordinates of the point on Earth in the WGS 84 system. The next step is to transform these co-ordinates to the respective local system.

5.4. CO-ORDINATES FOR A POINT ON EARTH IN A LOCAL SYSTEM.

Transforming the WGS 84 system co-ordinates to a local system such as used in Spain, defined by:

- International ellipsoid: Hayford.



Para obtener las coordenadas en este sistema de referencia, se gira un ángulo i alrededor de la línea de nodos, hasta que Z_p coincida con el eje de rotación instantáneo de la tierra:

$$X_T = X_P \quad Y_T = Y_P \cos i \quad Z_T = Y_P \sen i$$

Tenemos que realizar una nueva rotación alrededor del eje Z_T un ángulo λ hasta que el eje X coincida con el meridiano origen de Greenwich.

$$X = X_T \cos \lambda - Y_T \sen \lambda$$

$$Y = Y_T \sen \lambda + Y_T \cos \lambda$$

$$Z = Z_T$$

Pero el eje Z de un sistema geocéntrico instantáneo está en continuo movimiento debido a los fenómenos de precesión y nutación. Por tanto es necesario establecer un sistema de referencia que permanezca fijo en la Tierra, es el denominado sistema convencional terrestre.

5.3. COORDENADAS DEL SATÉLITE EN UN SISTEMA CONVENCIONAL TERRESTRE (WGS 84).

Este sistema tiene como origen de coordenadas el centro de masas de la Tierra, el eje Z es la línea que une el origen de coordenadas con la posición media del polo entre 1900 y 1905 (Polo CIO), el eje X es la intersección del meridiano de Greenwich y del ecuador medio, el eje Y forma un sistema dextrorsum con los dos anteriores.

$$\begin{pmatrix} X_C & Y_C & Z_C \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & x_n \\ 0 & 1 & -y_n \\ -x_n & y_n & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix}$$

Los valores X_n, y_n expresan la variación del polo CIO con respecto al instantáneo en segundos de arco.

Al Sistema Convencional Terrestre se asocia un elipsoide de revolución geocéntrico, con un modelo geopotencial que representa el campo gravitatorio terrestre. Este es el WGS84 (World Geodetic System 1984), que se estableció a

- Fundamental point: Potsdam.
- Origin of longitudes: Greenwich meridian.

calls for three translations, one for each co-ordinate axis - X, Y and Z – three rotations - ω , φ and κ - and a change of scale. In all, then, seven unknowns or transformation parameters are involved in transforming the co-ordinates from one system to the other.

$$\begin{pmatrix} X_S \\ Y_S \\ Z_S \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} D_1 \\ D_2 \\ D_3 \end{pmatrix} + \mu M \begin{pmatrix} X_L \\ Y_L \\ Z_L \end{pmatrix}$$

Where X_S , Y_S and Z_S are WGS 84 system co-ordinates, X_L , Y_L and Z_L the local system co-ordinates, D_1 , D_2 and D_3 the translations that have to be performed in directions X, Y and Z, μ is the scale factor and M the rotation matrix, and ω , φ and κ are the rotations around axes X, Y and Z, respectively.

The rotation matrix M is:

$$M = \begin{pmatrix} \cos\varphi\cos\omega & \cos\chi\sin\omega + \sin\chi\sin\varphi\cos\omega & \sin\chi\sin\omega - \cos\chi\sin\varphi\cos\omega \\ -\cos\varphi\sin\omega & \cos\chi\cos\omega + \sin\chi\sin\varphi\sin\omega & \sin\chi\cos\omega + \cos\chi\sin\varphi\sin\omega \\ \sin\varphi & -\sin\chi\cos\varphi & \cos\chi\cos\varphi \end{pmatrix}$$

Approximating the cosines to 1 and the sines to the arc yields:

$$\begin{pmatrix} X_S \\ Y_S \\ Z_S \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} D_1 \\ D_2 \\ D_3 \end{pmatrix} + \mu \begin{pmatrix} 1 & \varpi + \chi\varphi & \chi\varpi - \varphi \\ -\varpi & 1 + \chi\varphi\varpi & \chi + \varphi\varpi \\ \varphi & -\chi & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_L \\ Y_L \\ Z_L \end{pmatrix}$$

The co-ordinates for three points in each of the systems generates a system of 9 equations with 7 unknowns that can be readily solved with the three-dimensional Helmert Method. The transformation parameters to be applied to the rest of the points can be obtained from this system. Obviously, the larger the number of points used in the transformation, the more accurate is the fit.

If geodetic vertices are used in the foregoing exercise, given the insufficient accuracy of their elevations, precision levelling points should be used instead.

6. ERRORS INTRODUCED WHEN WORKING WITH GPS

When pursuing very accurate results, the various types of errors that may arise must be avoided:

6.1. ATMOSPHERIC ERRORS

The radiation transmitted by the satellite crosses empty space, the Ionosphere and the Troposphere.

In the vacuum in outer space the wave moves at a constant speed equal to the speed of light, but when it enters the atmosphere the path and speed of propagation of the wave vary.

- Errors due to the Ionosphere

partir de observaciones de anomalías de la gravedad, desviaciones de la vertical, observaciones láser a satélites, observaciones VLBI (Very Long Interferometry) etc.

En este sistema se obtienen las coordenadas de al menos 4 satélites y se puede ya calcular la posición del punto en la tierra. Los receptores en la Tierra tienen un software específico que realiza los cálculos anteriores y de forma automática nos permite conocer las coordenadas del punto de la Tierra en el Sistema WGS84. Nos queda transformar estas coordenadas a nuestro Sistema Local.

5.4. COORDENADAS DE UN PTO DE LA TIERRA EN UN SISTEMA LOCAL

Para transformar las coordenadas del sistema WGS84 a un sistema local, como el utilizado en España que está definido por:

- Elipsoide internacional: Hayford.
- Punto fundamental: Postdam.
- Origen de longitudes: el meridiano de Greenwich.

Tendremos que realizar tres traslaciones, una por cada eje de coordenadas X, Y, Z, tres rotaciones ω , φ , κ , y un cambio de escala, tendremos por tanto 7 incógnitas para realizar la transformación de un sistema a otro, estos son los parámetros de transformación de un sistema a otro.

$$\begin{pmatrix} X_S \\ Y_S \\ Z_S \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} D_1 \\ D_2 \\ D_3 \end{pmatrix} + \mu M \begin{pmatrix} X_L \\ Y_L \\ Z_L \end{pmatrix}$$

Siendo X_S, Y_S, Z_S las coordenadas en el sistema WGS84, X_L, Y_L, Z_L las coordenadas en el sistema local, D_1, D_2, D_3 las traslaciones que hay que realizar en las direcciones X,Y,Z, μ el factor de escala, y M la matriz rotación, donde ω, φ y χ son los giros alrededor de los ejes X, Y, Z respectivamente.

La matriz rotación M es:

$$M = \begin{pmatrix} \cos\varphi\cos\omega & \cos\chi\sen\omega + \sen\chi\sen\varphi\cos\omega & \sen\chi\sen\omega - \cos\chi\sen\varphi\cos\omega \\ -\cos\varphi\sen\omega & \cos\chi\cos\omega + \sen\chi\sen\varphi\sen\omega & \sen\chi\cos\omega + \cos\chi\sen\varphi\sen\omega \\ \sen\varphi & -\sen\chi\cos\varphi & \cos\chi\cos\varphi \end{pmatrix}$$

Aproximando los cosenos a 1 y los senos al arco tenemos:

$$\begin{pmatrix} X_S \\ Y_S \\ Z_S \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} D_1 \\ D_2 \\ D_3 \end{pmatrix} + \mu \begin{pmatrix} 1 & \varpi + \chi\varphi & \chi\varpi - \varphi \\ -\varpi & 1 + \chi\varphi\varpi & \chi + \varphi\varpi \\ \varphi & -\chi & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_L \\ Y_L \\ Z_L \end{pmatrix}$$

Conociendo las coordenadas de 3 puntos en ambos sistemas se genera un sistema de 9 ecuaciones con 7 incógnitas, que se resuelve fácilmente por Helmert Tridimensional, y con el que podemos calcular los parámetros de transformación que se aplicarán al resto de los puntos, es evidente que cuanto mayor sea el número de puntos utilizado para realizar esta transformación mayor será la precisión obtenida al realizar el ajuste.

Si para realizar este ajuste hemos empleado vértices geodésicos debemos tener en cuenta que sus precisiones en cota no son buenas, se utilizarán entonces puntos de nivelación de alta precisión (NAP).

6. ERRORES AL TRABAJAR CON GPS

Para realizar trabajos que requieren cierta precisión es importante evitar los diferentes errores que se pueden producir:

The Ionosphere extends from a height of 100 to about 1000 km. The gaseous molecules in this part of the Earth's atmosphere are ionized by solar ultraviolet radiation, releasing electrons: the number of free electrons per m³ (TEC) varies with the season of the year, day/night and the location and intensity of sunspots.

Signal delay is proportional to the total number of free electrons the signal crosses in its path.

This error is found by comparing the results for two working frequencies, L₁ and L₂, and subsequently eliminated.

– Tropospheric errors

The Troposphere is the lowest layer of the atmosphere, extending up to a height of 100 km over the surface of the Earth. The first ten kilometres cause humidity errors and the rest dry air temperature errors.

As the signal crosses the Troposphere, the propagation speed declines and the range measured is greater than the actual distance.

Dry air temperature is determined by measuring temperature and pressure; humidity is found with water vapour radiometers. In any event there are mathematical models that provide a reasonably accurate measure of signal propagation errors as radiation crosses the Troposphere, such as the Saastamoinen (1972) Hopfield (1969) and Goad and Goodman (1974), models, but these are only deployed when very precise measurements are needed.

6.2. SELECTIVE AVAILABILITY

Selective availability is an artefact deliberately introduced by the US Department of Defence. The purpose is to prevent any unauthorized civilian user from obtaining high accuracy when using low-cost GPS receivers. It consists of falsifying the information that the satellite transmits to users on the status of satellite clocks and orbital parameters, causing a maladjustment in the final result ranging from ten or twenty to up to 300 m.

This error can be avoided by working in differential mode, i.e., using two GPS receivers and comparing their coordinate readings to find the increments between the two: since the selective availability error affects both receivers in the same way, the increments found for X, Y and Z are correct.

This working method is more effective in small distances; in longer ranges the error is greater because such measurements may entail the use of different satellites or satellite constellations.

6.3. MULTIPATH ERROR

This error is caused when the signal is reflected off surfaces in the local environment. Satellite signals bouncing off such surfaces are subsequently picked up by the receiver. Earth planes that prevent the receiver from capturing signals at certain angles can be used to elude this error. But it is particularly important to position receivers at a reasonable distance from shiny surfaces such as cars, buildings and so on.

6.4. SATELLITE LOCATION. GDOP

GDOP: the geometric dilution of precision measures the geometrical strength of the GPS satellite configuration. The error obtained in the distance calculation must be multiplied by this factor.

The smaller the volume of the figure formed by the satellites, the greater is the GDOP. The optimal spatial distribution, for which the GDOP adopts a value of 1, is for one satellite to be at the zenith over the observer and the other three at 120° azimuthal intervals.

7. GPS APPLICATIONS IN ENGINEERING

The engineering applications are nearly limitless: highly accurate real-time and post-processing readings can be obtained very speedily. Moreover, these observations can be combined with other more conventional topographic measuring systems.

6.1. ERRORES ATMOSFÉRICOS

La radiación proveniente del satélite atraviesa el vacío, la ionosfera y la Troposfera.

En el vacío la onda se mueve a una velocidad constante e igual a la velocidad de la luz, pero al atravesar la atmósfera se producen modificaciones en la trayectoria y en la velocidad de propagación de la onda.

– Errores producidos al atravesar la ionosfera.

La ionosfera se encuentra entre los 100 y 1000 Km de altura. Las radiaciones ultravioletas del sol ionizan las moléculas gaseosas liberando electrones, el número de electrones libres en 1 m^3 (TEC) varía según la época del año, el día o la noche y las manchas solares.

El retardo de la señal es proporcional al número total de electrones libres encontrados por la señal en su camino.

Este error se elimina utilizando dos frecuencias de trabajo, L_1 y L_2 y por comparación diferencial entre ambas frecuencias determinamos dicho error.

– Errores producidos al atravesar la Troposfera

La Troposfera es la capa mas baja de la atmósfera, hasta los 100 Kms de altitud. Los 10 primeros Kms son los responsables del error introducido por la humedad, el resto por la temperatura de aire seco.

A medida que la señal atraviesa la Troposfera, la velocidad de propagación es menor y medimos mas distancia de la real.

Para determinar la temperatura de aire seco se realizan medidas de presión y temperatura, para determinar la humedad se utilizan radiómetros de vapor de agua. En cualquier caso existen modelos matemáticos que permiten conocer con bastante exactitud los errores de propagación de la señal al atravesar la Troposfera, como el de Saastamoinen, 1.972; Hopfield, 1.969; Goad and Goodman, 1.974. pero esto solo se aplicará cuando necesitemos grandes precisiones.

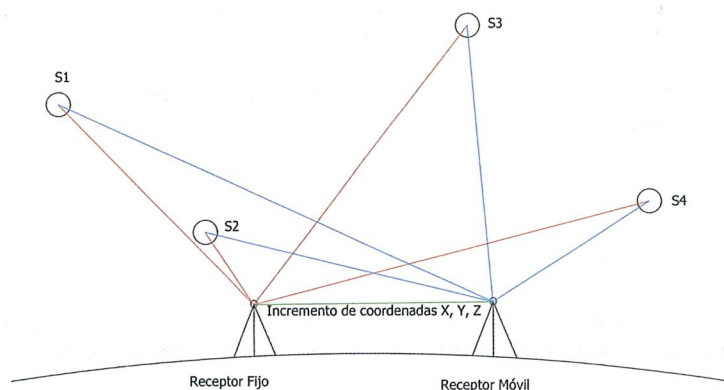
6.2. DISPONIBILIDAD SELECTIVA

Es un error artificial introducido por el departamento de defensa de los EEUU, el objetivo es que todo usuario civil, no autorizado, no obtenga una buena precisión utilizando un receptor GPS de bajo coste. Para conseguir esto se falsea la información que el satélite emite a los usuarios sobre el estado de los relojes de los satélites y los parámetros orbitales, con lo que se provoca un desajuste en el resultado final del posicionamiento, error que puede variar desde varias decenas de metros y hasta los 300 m.

Se puede evitar este error trabajando en modo diferencial, es decir utilizando dos receptores GPS, y obteniendo incrementos de coordenadas entre ambos receptores, como el error que supone la disponibilidad selectiva afecta de igual modo a ambos receptores, los resultados de los incrementos en X, Y, Z serán correctos.

Este método de trabajo es más efectivo en distancias pequeñas, en distancias grandes el error es mayor porque nos podemos encontrar con distintos satélites y diferente configuración de los satélites.

POSICIONAMIENTO EN MODO DIFERENCIAL DIFFERENTIAL GPS POSITIONING



The accuracy required in any engineering operation necessitates working in differential mode, i.e., using two or more receivers to avoid the selective availability error. The receivers must be capable of carrier phase tracking and receive signals in both C/A and P code to enhance the precision of the satellite-receiver range measurement. Moreover, dual frequency receivers should be used, capturing both L_1 and L_2 carrier signals to eliminate ionospheric errors. Lastly, the receivers must not be positioned near shiny surfaces or high voltage wires that distort satellite signals.

In any event, the first step always involves transforming the co-ordinates from the WGS 84 system to the local system chosen, which in turn means that co-ordinates must be obtained for at least 3 points in each of the two reference systems. Both this adjustment and the entire data capture process may be performed in real time or in post-processing mode: the choice of the working method depends on the accuracy required.

Real time: the accuracy obtained when working in real time may vary from one to several cm; in other words, it is variable and depends above all on the distance between the reference receiver or base station and the remote or rover receiver: the shorter the distance between the two receivers, the greater the accuracy. It is, in any event, a very speedy method that provides information on co-ordinates as the data are collected and is very useful for stake-out operations.

The transformation parameters are entered in the receivers and the theoretical co-ordinates for the point where the antenna is positioned are entered in the base station; the receiver calculates the difference between its theoretical co-ordinates and the GPS information. This difference, transmitted from the base station to the rover receiver by radio link, is the correction factor applied to the co-ordinates obtained in the latter.

Post-processing: this method is used where very high degrees of accuracy are required. Here the remote receiver is ideally stationed at each point for at least 15 minutes to obtain a wealth of redundant data: to increase precision even further, to values ranging from 2 to 5 mm, triangle systems can be established by using more than one base station and obtaining more than one set of co-ordinates for each remote receiver position. The results are used to determine the co-ordinates for the point by establishing systems of equations and solving by minimum squares.

GPS techniques can be used in many fields of Engineering, including most notably:

- Determination and/or validation of stake-out survey and control points in Civil Works and Building.
- Cartography: contour surveys
- Civil works construction: real-time guidance of construction vehicles: power shovels in open-pit mines or power graders for any surface (3D system).
- Aerial mapping; obtaining co-ordinates for the control points.
- Geodynamics: movements and deformations of the Earth crust.
- Mining: cave-ins and landslides.
- Geophysics: gravimetric and seismic surveys.
- Hydrography: seabed cartography.
- Use in geographic information systems.

The Global Positioning System (GPS) has also been used to verify the veracity of Einstein's Special and General Theories of Relativity.

If a stationary observer could see a clock located on board a space capsule launched at high speed, he would find it to be slow. But for anyone travelling inside the craft, which is their frame of reference, the clock marks the time normally. The effect can only be perceived by those outside the vehicle, in another frame of reference. The faster the ship moves the slower its clock becomes. If the spaceship could move at the speed of light, the clock, seen from the Earth, would stop altogether. The spaceship crew, in turn, would see the same effect in clocks on Earth.

This is why special relativity sustains that time "measurements", like those of length and mass, depend on the relative speed between observers.

6.3. ERROR MULTICAMINO

Este error se produce cuando existen superficies reflectantes cerca del lugar donde se encuentra el receptor. La señal procedente del satélite se desvía hacia esta superficie donde se refleja, posteriormente es recibida por el receptor. Este error se anula utilizando planos de tierra que evitan que el receptor reciba las señales que llegan con determinados ángulos. Pero sobre todo es importante evitar superficies reflectoras como coches, edificios etc.

6.4. SITUACIÓN DE LOS SATÉLITES PDOP

PDOP: Cuantifica como influye la distribución geométrica de los satélites en la precisión de las coordenadas. Es el factor por el que se debe multiplicar el error obtenido en la determinación de la distancia.

El PDOP es mayor cuanto menor sea el volumen de la figura formado por los satélites. La distribución espacial óptima es que un satélite se encuentre en el cenit del observador y los otros tres formen 120° acimutalmente entre ellos, en ese caso el PDOP es 1.

7. APLICACIÓN DEL SISTEMA GPS EN OBRAS DE INGENIERIA

En el campo de la ingeniería las aplicaciones son casi ilimitadas, es posible alcanzar altas precisiones de forma rápida, en tiempo real y en postproceso y permitiendo además la integración con otros sistemas de medida de topografía clásica.

Las precisiones necesarias en cualquier trabajo de ingeniería exigen trabajar siempre en modo diferencial utilizando dos o más receptores para evitar el error de disponibilidad selectiva, los receptores deben realizar las medidas en fase y recibir las señales en los dos códigos C/A y P para aumentar la precisión en la medida de distancia satélite - receptor, además se deben emplear receptores bifrecuencia que reciban señales en las dos portadoras L_1 y L_2 para eliminar los errores ionosféricas y será importante que el operario tenga especial cuidado para evitar superficies reflectoras y líneas de alta tensión que desvíen la señal procedente del satélite.

En cualquier caso siempre será necesario empezar nuestro trabajo realizando un ajuste que permita la transformación de coordenadas desde el Sistema WGS84 hasta el Sistema Local elegido, para lo que debemos obtener coordenadas de al menos 3 puntos en ambos sistemas de referencia. Tanto este ajuste como toda la toma de datos se podrá realizar en tiempo real o en postproceso, la elección del método de trabajo depende siempre de las precisiones exigidas.

Trabajos en Tiempo Real: Las precisiones que se obtienen trabajando en tiempo real pueden variar desde 1 hasta varios cms, es por lo tanto variable y sobre todo depende de la distancia entre el receptor fijo y el móvil, cuanto menor sea la distancia entre ambos receptores mayor será la precisión obtenida. En cualquier caso este es un método muy rápido que permite obtener coordenadas en el instante de la toma de datos y muy útil en trabajos de replanteo.

En los receptores se introducen los parámetros de transformación del ajuste y al receptor fijo se le introducen las coordenadas teóricas del punto donde este estacionado, el receptor calcula la diferencia entre las coordenadas teóricas de su posición y las que en ese instante está obteniendo con el receptor GPS, la diferencia entre ambas coordenadas es la corrección que se aplica a las coordenadas que se obtienen en el receptor móvil, esta corrección es enviada desde el receptor fijo al móvil mediante una señal de radio.

Trabajos en postproceso: Este método se emplea en trabajos en los que es necesario obtener una precisión muy alta, se recomienda entonces mantener el receptor móvil en cada punto al menos 15 minutos con lo que obtendremos una alta redundancia de datos, si aún queremos aumentar mas la precisión, entre 2 y 5 mm, podemos establecer redes de triángulos, utilizando mas de un receptor fijo y obteniendo mas de una coordenada para cada punto del receptor móvil, con los resultados obtenidos se determinan las coordenadas del punto estableciendo sistemas de ecuaciones que se resolverán por mínimos cuadrados.

Dentro de la Ingeniería son muchos los campos en los que es aplicable la técnica GPS, algunos de los mas frecuentes son:

- Implantación y/o comprobación de bases de replanteo y puntos de control en Obra Civil y Edificación.
- Cartografía: Levantamientos topográficos del terreno.

According to general relativity, in turn, mass causes space-time to curve, and the closer the observed point is to the mass, the more pronounced is this space-time curve. In other words, "the amount of matter and the distance with respect to that matter determine the space-time curve". The space-time curve makes the objects entering the system follow trajectories known as "geodesics". The Earth rotates around the sun because it follows a geodesic trajectory in space-time curved by the sun's mass. And when an object is closer to the Earth the space-time where it is located is more curved than when it is farther away. General relativity also tells us that at the points where the space-time curve is greatest, time slows, and where the curve is flatter time is faster. Therefore, the farther the clocks are from the Earth the faster they appear to be.

The NAVSTAR constellation satellites orbit the Earth at an altitude of 20,180 km and carry a highly accurate atomic clock on board. Although these satellites do not normally travel at over 8 km per second (which, compared with the speed of light, is very slow), that is sufficient for there to be a very small difference in the time measurement between the satellite's and the Earth's clock, when both are seen from the Earth.

On the one hand, due to the relative speed between the satellite and the land stations, special relativity predicts that the satellite's clock will be slower (operate at a lower frequency) than the clocks on Earth. On the other, general relativity sustains that clocks are faster when they are further away from the body, in this case the Earth, where space-time is flatter. These two opposite effects would cancel one another out in satellites orbiting at distances 1.5 times the radius of the earth: but since the NAVSTAR satellites are in orbits 4.2-fold the terrestrial radius their clocks are faster than those on the surface of the planet. At the end of a single day, the net result of the two effects comes to a difference of 38.5 microseconds. If this difference were not compensated by adjusting the on-board clocks, the satellites' navigational errors would amount to 11 kilometres per day. This dual relativistic effect on time has been experimentally verified to an error of less than only 1% of Einstein's predictions.

- Ejecución de trabajos en obra civil: permite obtener un guiado de vehículos de construcción en tiempo real: Excavadoras en minas a cielo abierto o guiado de moto niveladoras para la ejecución de cualquier superficie proyectada (Sistema 3D).
- Fotogrametría, obtención de coordenadas de los puntos de apoyo.
- Geodinámica: Movimientos y deformaciones de la corteza terrestre.
- Minería: Hundimientos y deslizamientos del suelo.
- Geofísica: Trabajos de gravimetría y estudios sísmicos.
- Hidrografía: Cartografía del fondo marino.
- Aplicación a Sistemas de Información Geográfica.

También el Sistema de Posicionamiento Global (G.P.S.) ha servido para la comprobación de la veracidad de la Teoría Especial y General de la Relatividad de Einstein.

Si nosotros, como observadores estacionarios, pudiéramos ver un reloj situado a bordo de una nave espacial lanzada a gran velocidad, encontraríamos que su tic-tac va más lento de lo habitual. Para los que vayan dentro de la nave, que es su marco de referencia, el reloj va como siempre. Este efecto sólo lo captan los que están fuera, en otro marco de referencia. Cuanto más velocidad lleve la nave más despacio vemos que va su reloj. Si la nave adquiriese la velocidad de la luz, veríamos que su reloj, en ese momento, quedaría detenido. El mismo efecto se produce en los que van en la nave y observan nuestros relojes.

Por ello la Relatividad Especial dice: las "mediciones" del tiempo, como las de longitud y las de masa, dependen de la velocidad relativa entre los observadores.

Por otra parte la Relatividad General dice que una masa varía la geometría del espacio - tiempo curvándose más, conforme el punto observado se encuentre más cerca de ella. Es decir, "la cantidad de materia y la distancia respecto a esa materia determinan la curvatura del espacio - tiempo". La curvatura del espacio - tiempo hace que los objetos que entran en él sigan trayectorias curvas llamadas "geodésicas". La Tierra gira alrededor del Sol porque sigue una trayectoria geodésica dentro del espacio - tiempo curvado por la masa del Sol. También, cuando un objeto está más cerca de la Tierra el espacio - tiempo donde se encuentra está más curvado que cuando está más alejado. Y también nos dice la Relatividad General que en los puntos en que la curvatura del espacio - tiempo es mayor, el tiempo se ralentiza y donde es menor el tiempo es más rápido. Por tanto, cuando los relojes se encuentran más alejados, vistos desde la Tierra, vemos que van más rápidos.

Los satélites de la constelación NAVSTAR orbitan la Tierra a una altitud de 20.180 kilómetros y llevan a bordo un reloj atómico de gran precisión. Aunque los satélites, normalmente, no llegan a sobrepasar la velocidad de 8 kilómetros por segundo (que comparada con la de la luz es muy pequeña), es suficiente para que exista una pequeñísima diferencia en la medición del tiempo entre el reloj del satélite y el de tierra, observando ambos desde tierra.

A causa de la velocidad relativa entre el satélite y las estaciones terrestres, la Relatividad Especial predice que el reloj del satélite va a ir más lento (a una frecuencia más baja) que los que se encuentran en tierra. Por otra parte, la relatividad General sostiene que los relojes se ven más rápidos cuando están más alejados de la masa, en éste caso de la Tierra, dónde el espacio tiempo está menos curvado. Estos dos efectos contrarios, se anularían mutuamente en satélites que orbitaran a distancias de 1'5 veces el radio de la Tierra, pero los satélites NAVSTAR tienen órbitas de alrededor de 4'2 veces el radio terrestre y así sus relojes van más rápidos que los que se encuentran en la superficie de nuestro planeta. La diferencia entre ambos efectos, acumulada a lo largo de un día, produce una diferencia de 38'5 microsegundos. Si no se compensara esta diferencia adaptando los relojes situados a bordo, los errores de navegación de los satélites alcanzarían los 11 kilómetros por día. Este doble efecto relativista sobre el tiempo ha sido comprobado experimentalmente con un error menor de sólo un 1% de lo predicho por Einstein.

REFERENCES

- THOMAS A. HERRING. El Sistema Global de Posicionamiento. Revista de Investigación y Ciencia (April 1996).
- A NUÑEZ – GARCIA DEL POZO, J.L. VALBUENA, J. VELASCO. "GPS La Nueva Era de la Topografía" Edición Ciencias Sociales 1992.
- A.R. Alcalá Jiménez, C. Enríquez Turiño. "Movimiento orbital de los satélites GPS". Revista MAPPING. January 1997.
- A.R. Alcalá Jiménez, C. Enríquez Turiño. "Errores introducidos por la Atmósfera en las Técnicas de medición de la Geodesia Espacial". Revista MAPPING January 1997.
- Cid Palacios R., Ferrer Martínez S., "Geodesia Física, Métrica y por satélites" Ministerio de Fomento 1999.
- VI Curso de Geodesia Superior. Fotogrametría y Posicionamiento GPS. Instituto de Astronomía y Geodesia. January 1990.
- ERIC CHAISSON. Relatividad, Agujeros Negros y el Destino del Universo. Ed. Plaza Janes. 1990.

BIBLIOGRAFIA

- THOMAS A. HERRING. El Sistema Global de Posicionamiento. Revista de Investigación y Ciencia (Abril 1.996).
- A NUÑEZ – GARCIA DEL POZO, J.L. VALBUENA, J. VELASCO. "GPS La Nueva Era de la Topografía" Edición Ciencias Sociales 1.992.
- A.R. Alcalá Jiménez, C. Enríquez Turiño. "Movimiento orbital de los satélites GPS". Revista MAPPING. Enero 1.997.
- A.R. Alcalá Jiménez, C. Enríquez Turiño. "Errores introducidos por la Atmósfera en las Técnicas de medición de la Geodesia Espacial". Revista MAPPING. Enero 1.997.
- Cid Palacios R., Ferrer Martínez S., "Geodesia Física, Métrica y por satélites" Ministerio de Fomento 1.999.
- VI Curso de Geodesia Superior. Fotogrametría y Posicionamiento GPS. Instituto de Astronomía y Geodesia. Enero 1.990.
- ERIC CHAISSON. Relatividad, Agujeros Negros y el Destino del Universo. Ed. Plaza Janes. 1990.

Relación de Personal Titulado de INTEMAC

Arquitectos

Fernández Sáez, Ana María
Fraile Mora, Serafín
Gibernau Ponsa, Luis
González Balseyro, María José
López-Nava Muñoz, Alberto Ignacio
Luzón Cánovas, José M^a
Sánchez Arroyo, Jesús M^a
Sicilia Mañá, Beatriz

Ingenieros Aeronáutico

Peraita Colsa, Carlos

Ingenieros de Caminos

Anlló Rodríguez, María
Baena Alonso, Eva
Barrios Corpa, Jorge
Barrios Corpa, Roberto
Beteta Cejudo, M^a Carmen
* Calavera Ruiz, José
Calderón Bello, Enrique
Carpintero García, Ismael
Castillo Fernández, Luis Javier
Corbacho Vicioso, José Angel
Cortés Bretón, Juan María
Corral Folgado, Claudio
De la Cuerda del Olmo, Francisco Javier
De la Fuente Gómez, Ana Isabel
Dávila Sánchez-Toscano, Suyapa
Díaz Heredia, Elena
Díaz Lozano, Justo
Díaz Pavón Cuaresma, Eduardo
Encinar Arroyo, Antonio
Fernández García, Susana
* Fernández Gómez, Jaime Antonio
Gil García, Alfonso
González González, Juan José
* González Valle, Enrique
* Hostalet Alba, Francisco
* Izquierdo Bernaldo de Quirós, José M^a
Jiménez Ortiz, Gonzalo
Ley Urzaiz, Jorge
Molero Rodríguez, Teresa
Munugarren Martínez, Miguel Angel
Recio Cañadas, Alba
Rocha Muñoz, Sergio de la
Rodríguez Escribano, Raúl Rubén
Rodríguez Romero, Jesús M^a
Rueda Contreras, Jorge Ladislao
Ruiz Jiménez-Alfaro, Felipe
Sanz Pérez, Lorenzo
Sirvent Sirvent, Enrique
Tapia Menéndez, José
Torre Cobo, María Carmen
Torres Pérez, Elisa
Valdés Fernández de Alarcón, Pablo
Villanueva Ramírez, Santiago

Ingeniero en Cartografía y Geodesia

López-Canti Casas, Elisa

Ingenieros I.C.A.I.

Marín Estévez, Gonzalo
Escarpizo-Lorenzana Martínez, Jorge

Ingenieros Industriales

* Alvarez Cabal, Ramón Amado
Arroyo Arroyo, José Ramón
Bayonne Sopo, Enrique
Estrada Gómez, Rafael
Muñoz Fuentes, Miguel Angel
Torruella Martínez, Josep M^a
* Valenciano Carles, Federico

Ingeniero de Minas

Ramos Sánchez, Adelina

Dra. en Geografía e Historia

Calavera Vayá, Ana María

Licenciada en Administración y Dirección de Empresas

Perales Gómez, Natalia

Licenciado en Ciencias Ambientales

Gil Esteban, Luis Miguel

Licenciado en C. Económicas y Empresariales

González Chavero, Antonio

Licenciados en Ciencias Químicas

Grandes Velasco, Sylvia María
López Sánchez, Pedro
Morgado Sánchez, José Carlos

Licenciados en Derecho

González del Olmo, Alfredo
* Jarillo Cerrato, Pedro

Licenciada en Filología Hispánica

Valentín Sierra, M^a Consuelo

Licenciados en Geología

Blanco Zorroza, Alberto
Baz Lorenzo, María Ascensión
Casado Chinarro, Alejandro
García Tascón, Jorge
López Velilla, Oscar
Orejas Contreras, M^a Carmen
Peguero Orta, Carlos
Usillos Espín, Pablo

Arquitectos Técnicos

Carrato Moñino, Rosa M^a
Fernández Jiménez, Amelia
Gago Morales, Ana María
Gallego Castro, Sergio
Montejano Jiménez, María del Carmen
Muñoz Mesto, Angel
Ochoa Marañón, Ainara
Sánchez Marina, Alberto

Ingenieros Técnicos Industriales

Alcubilla Villanueva, Rubén
Cruz Rodríguez, Sandra Inés
Díaz-Trechuelo Laffón, Antonio
González Carmona, Manuel
López Aguilar, Fernando
Madueño López, Javier
Madueño Moraño, Antonio
Sánchez Bueno, Juan Jesús
Verdú Hoys, David
Villar Riñones, Jesús

Ingeniero Técnico en Informática de Gestión

Esteban Pérez, Ramón

Ingeniero Técnico de Minas

Sillero Arroyo, Andrés

Ingenieros Técnicos Obras Públicas

Alfaro Martínez, Juan Manuel
Carrero Crespo, Rafael
Galán de Cáceres, M^a del Puerto
García Menéndez, David
González Isabel, Germán
González Nuño, Luis
Gutiérrez Garrosa, Raul
Mata Soriano, Juan Carlos
Mazuecos Salas, Ildefonso
Montiel Sánchez, Ernesto
Muñoz Mesto, Angel
Ortiz del Campo, Natalia
Prieto Antón, Eva Sonia
Ramos Valdés, Raquel
Rodríguez Carvajal, Cecilia Gloria
Romero García, Daniel
Rosa Moreno, José Andrés
Rozas Hernando, José Juan
Salgado Vinuesa, Beatriz

Sánchez Tomé, Elena
Sánchez Vicente, Andrés
Sillero Olmedo, Rafael
Soto López, Elena del
Suárez Ramos, M^a Pilar
Vaquero Andrés, Laura
Vicente Girón, Susana

Ingenieros Técnicos Topógrafos

Blasco Talaván, Rubén
Barragán Bermejo, M^a Vicenta
Carreras Ruiz, Francisco
Lana Campos, Rebeca
López de Castro, Daniel
López Jiménez, Luis
Molero Vicente, M^a Isabel
Salado Rodilla, Rafael
Sánchez Martín, María de la O
Shaw Molina, María Belén
Torés Campos, Ana M^a
Vicente Conde, M^a Isabel

Ingeniero Técnico Aeronáutico

De Castro Asensio, Felipe

Profesor Mercantil

Sampedro Portas, Arturo

Técnicos en Administración de Empresas

Cebrián Sobrino, M^a José
González del Olmo, M^a de la Peña de F.

Técnico en Publicidad

Blanco Armas, Cristina

Topógrafo

Alquézar Falceto, Ricardo

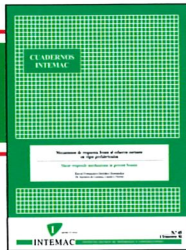
NOTA: Todo el personal de INTEMAC trabaja en dedicación completa y exclusiva, con la excepción de las personas arriba indicadas con, a las que se autoriza la dedicación a la Enseñanza Universitaria en régimen de dedicación parcial.

CUADERNOS INTEMAC

CUADERNOS INTEMAC es una publicación trimestral, bilingüe en español e inglés, en forma de monografías que recogen trabajos realizados por los técnicos del Instituto o presentados en los Cursos y Conferencias organizados por el mismo.

Los temas tratados cubren tanto el campo de las Obras Públicas como el de la Edificación y sus Instalaciones.

Precio de la suscripción Año 2005: 27 €



ULTIMOS TITULOS PUBLICADOS

Cuaderno Nº 57

“Influencia del tipo de refrentado y de la clase de probeta: cúbica o cilíndrica, en la medida de la resistencia del hormigón”.

Autores: CLAUDIA PATRICIA GARAVITO; J. CALAVERA RUIZ
Dra. Ing. de Caminos,
Dr. Ing. de Caminos.

Cuaderno Nº 58

“Sistema de posicionamiento global. Fundamentos y aplicación en obras de ingeniería”.

Autores: E. LÓPEZ-CANTÍ CASAS; P. VALDÉS FDEZ. DE ALARCÓN.

CUADERNOS DE PROXIMA APARICION

Cuaderno Nº 59

“Las pruebas de carga de recepción de las estructuras de la circunvalación de Madrid M-50 y las radiales R-3 y R-5”.

Autores: ÁNGEL HUERTOS RODRÍGUEZ, Ing. Tec.O.P., J. LEY URZAIZ
Dr. Ing. de Caminos, SERGIO DE LA ROCHA MUÑOZ, Ing. de Caminos,
JOSÉ JUAN ROZAS
HERNANDO, Ing. Tec. O.P.

Cuaderno Nº 60

“Recintos y huecos para instalaciones en edificios de viviendas”.

Autores: G. MARTÍ ESTÉVEZ; F. VALENCIANO CARLES.

Consulte lista completa de la Colección

MONOGRAFÍAS INTEMAC

A partir de junio de 1998 INTEMAC emprendió una nueva línea de publicaciones con un carácter eminentemente práctico, destinadas a tratar temas muy concretos que, o bien presentan un nivel de problemas acusados en la práctica, o bien están insuficientemente cubiertos por la Normativa y la documentación técnica existente.

MONOGRAFÍA INTEMAC Nº 5

“Mantenimiento y reparación de paramentos de hormigón”.

Autores: R. Barrios Corpa, C. Beteta Cejudo, E. Díaz Heredia, Prof. J. Fernández Gómez, J. M^a. Rodríguez Romero.
Precio de la Monografía 33 €

MONOGRAFÍA INTEMAC Nº 6

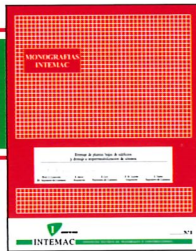
“Patología, técnicas de intervención y limpieza de fábricas de ladrillo”.

Autores: P. López Sánchez, J. M^a. Luzón Cánovas, I. Martínez Pérez, A. Muñoz Mesto, A. Fernández Sáez.
Precio de la Monografía 33 €

MONOGRAFÍA INTEMAC Nº 7

“Estructuras de madera”.

Autores: J. M^a. Izquierdo y Bernaldo de Quirós.
Precio de la Monografía 33 €



NOTAS DE INFORMACIÓN TÉCNICA NIT

En INTEMAC se producen, con frecuencia, notas de información sobre temas que pensamos que no solamente tienen una utilidad interna sino que pueden resultar interesantes para muchos Técnicos de la Construcción.

NOTAS DE INFORMACIÓN TÉCNICA NIT 1 (05)

“Estudio experimental sobre la influencia de distintos procedimientos de curado inicial en obra, en la resistencia a compresión de probetas de hormigón”.

Autores: J. Calavera Ruiz, J. Fernández Gómez, G. González Isabel, J. Ley Urzaiz
Edición bilingüe (español e inglés) en color.
Precio 11 €



NOTAS DE INFORMACIÓN TÉCNICA NIT 2 (05)

“El Incendio del Edificio Windsor de Madrid. Investigación del comportamiento al fuego y de la capacidad resistente residual de la estructura tras el incendio”.

Autores: J. Calavera Ruiz, E. González Valle, J. Díaz Lozano, J. L. Cano Muñoz, J. Fernández Gómez, J. M^a. Izquierdo y Bernaldo de Quirós, J. Ley Urzaiz.

Edición bilingüe (español e inglés) en color.

Precio 15,5 €

VÍDEOS TÉCNICOS

Muestreo de hormigón fresco. Fabricación y ensayo de probetas de hormigón.

Nº 2001 (1-1)

Contempla de forma completa y detallada el proceso de toma de muestras de hormigón fresco en obra, la medida de la consistencia con el Cono de Abrams, fabricación de probetas, curado en obra, transporte al laboratorio, curado en cámara, refrentado y ensayo a compresión.

Esta nueva versión del vídeo 8801 (1), introduce las modificaciones de EHE y un sistema de estudio de la distribución de presiones de la prensa sobre la probeta así como los aspectos particulares del ensayo de hormigones de alta resistencia.
30 minutos - 25 €



Fabricación y control de calidad de barras y mallas para hormigón armado.

Nº 2002 (1-2)

Muestra el proceso de laminación en fábrica de las barras y alambres, la fabricación de mallas y los ensayos de tracción, doblado, arrancamiento de nudos y determinación de las características geométricas del corrugado y el ensayo de Beam-test para la determinación de las características de adherencia.

30 minutos - 25 €



Compresión centrada en hormigón armado.

Nº 2002 (1-4)

Contempla la rotura de siete pilares a escala real, variando resistencias de hormigón desde 25 N/mm² a 100N/mm², las cuantías de armaduras, la separación de estribos y la velocidad de carga conectando todo ello con las fórmulas de cálculo.

35 minutos - 25 €



Flexión simple en hormigón armado.

Nº 2002 (1-3)

Incluye el ensayo a rotura de cinco vigas a escala real, con diferentes cuantías y diferentes desarrollos de adherencia conectando todo ello con las fórmulas de cálculo.

35 minutos - 25 €



Esfuerzo cortante en hormigón armado.

Nº 2002 (1-5)

Muestra el ensayo a rotura de cinco vigas a escala real, con diferentes formas de rotura por corte (Tracción diagonal, corte flexión, compresión diagonal, etc.) conectando todo ello con las fórmulas de cálculo.

25 minutos - 25 €

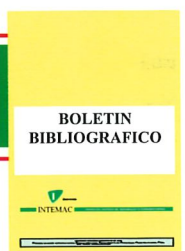


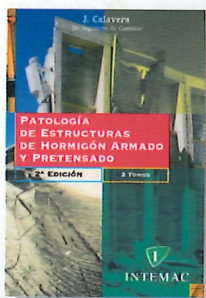
BOLETÍN BIBLIOGRÁFICO

INTEMAC viene realizando desde su fundación un BOLETÍN BIBLIOGRÁFICO para uso interno, que ofrece, en una lectura rápida, un panorama general de todas las publicaciones técnicas disponibles. Desde 1991, esta publicación bimestral, ha sido puesta a disposición del público.

EL BOLETÍN BIBLIOGRÁFICO incluye:
Fotocopia del índice y de los resúmenes de los artículos contenidos en las 105 revistas técnicas que se reciben en el Instituto referentes a los campos de la Edificación, Instalaciones, Obras Públicas y Urbanismo. Una sección de Normativa reciente, nacional y extranjera. Secciones de Bibliografía y Cursos. Una sección de Congresos, Reuniones Técnicas y Ferias de próxima celebración en todo el mundo.

Tarifa de suscripción anual (6 números) 152 €





Nueva edición

Patología de estructuras de hormigón armado y pretensado

2ª edición (2 tomos)

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 120 €

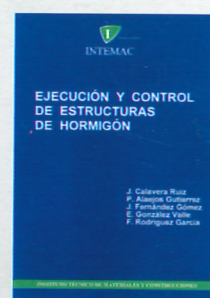


Nueva publicación

Fichas de ejecución de obras de hormigón

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 30 €



Nueva publicación

Ejecución y control de estructuras de hormigón

J. Calavera, P. Alaejos Gutiérrez,
J. Fernández Gómez, E. González Valle,
F. Rodríguez García

Precio: 100 €



Manual para la redacción de informes técnicos en construcción

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 72 €



Manual de Ferralla

3ª edición

J. Calavera, E. González Valle,
J. Fernández Gómez, F. Valenciano

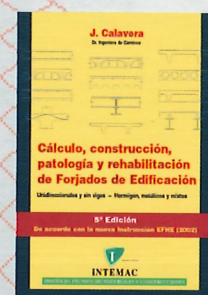
Precio: 38 €



Proyecto de estructuras de hormigón con armaduras industrializadas

J. Calavera, E. González Valle,
J. Fernández Gómez, F. Valenciano

Precio: 47 €

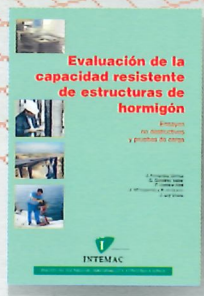


Cálculo, construcción, patología y rehabilitación de forjados de edificación

5ª edición

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 100 €



Evaluación de la capacidad resistente de estructuras de hormigón

J. Fernández Gómez, G. González Isabel,
F. Hostalet Alba, J. M. Izquierdo, J. Ley Urzaiz

Precio: 58 €

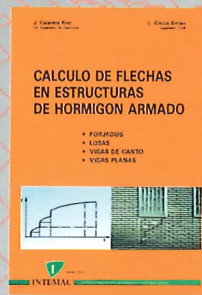


Muros de contención y muros de sótano

3ª edición

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 71 €



Cálculo de flechas en estructuras de hormigón armado

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)
L. García Dutari (Ingeniero Civil)

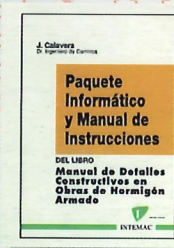
Precio: 50 €



Manual de detalles constructivos en obras del hormigón armado

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Libro: 112 € - Paquete informático: 198 €



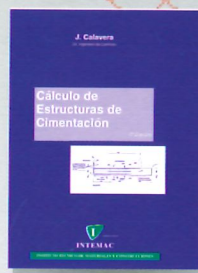
INTEMAC

Mario Roso de Luna, 29, Ed. 12 - 28022 MADRID

TEL.: 91 327 74 00 • FAX: 91 327 74 20

e-mail: intemac@intemac.es

www.intemac.es



Cálculo de estructuras de cimentación

4ª edición

J. Calavera (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 71 €



Hormigón de alta resistencia

G. González-Isabel (Ingeniero Técnico de O. P.)

Precio: 44 €



Tecnología y propiedades mecánicas de hormigón

A. Delibes (Dr. Ingeniero de Caminos)

Precio: 54 €