

01121
93



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

ANÁLISIS Y APLICACIÓN DEL GPS A LA
INGENIERÍA CIVIL

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

I N G E N I E R O C I V I L

P R E S E N T A N :

PEDRO MENESES LARIOS

JOSE LUIS PALOMARES FRANCO



DIRECTOR DE TESIS: DR. LUIS E. MARIN STILLMAN

CIUDAD UNIVERSITARIA MEXICO, D. F.

2003

A

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

Señores
PEDRO MENESES LARIOS
JOSÉ LUIS PALOMARES FRANCO
Presente

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN
FING/DCTG/SEAC/UTIT/169/02

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor DR. LUIS ERNESTO MARIN STILLMAN, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrollen ustedes como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

"ANÁLISIS Y APLICACIÓN DEL GPS A LA INGENIERÍA CIVIL"

- I. INTRODUCCIÓN
- II. METODOLOGÍA
- III. RESULTADOS
- IV. DISCUSIÓN
- CONCLUSIONES
- BIBLIOGRAFÍA
- ANEXOS

Ruego a ustedes cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

Asimismo les recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"

Cd. Universidad a 4 Diciembre 2002.
EL DIRECTOR

M.C. GERARDO FERRANDO BRAVO
GFB/GMP/melg.

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: José Luis Palomares Franco

FECHA: 07/02/03

FIRMA:

Agradecimientos.

Gracias...

A la Universidad Nacional Autónoma de México por habernos desarrollado intelectualmente.

A la Facultad de Ingeniería por darnos una formación integral como profesionistas.

Al Dr. Luis E. Marín por su amistad y apoyo ofrecidos en la realización de este proyecto.

A todos mis maestros y compañeros que tuvimos durante la carrera, por habernos instruido y acompañado en esta etapa de nuestras vidas.

Al proyecto del CONACyT otorgado al Dr. Luis E. Marín Stillman del Instituto de Geofísica, por el apoyo para la realización de los estudios del proyecto.

Al M. I. Sergio Tirado, al Ing. Oscar E. Martínez, al M. I. Juan Carlos Fernández, al Ing. Miguel Ángel González, por sus recomendaciones y consejos para este proyecto

"La vida tiene su valor solo cuando hacemos que valga la pena vivirla"

Hegel

Pedro Meneses Larios

Dedicatoria:

Esta dedicatoria no está por orden de importancia pues si alguno de ustedes no estuviese conmigo mi vida no tendría sentido.

A Dios

Por haberme dado la oportunidad de vivir y además de tener a mi lado a todos mis seres queridos.

A mis tíos Manuel y Marta

Por estar al pendiente de mi y de mi familia en todo momento y darme su apoyo incondicional. GRACIAS. Nunca podré pagarles todo lo que nos han hecho por mi, pues sin ustedes no podría ser la persona que hoy soy.

A mi Madre.

Por haberme cuidado y brindado todo su cariño, esfuerzo, amor y dedicación, pues todo lo que soy es simple reflejo de lo que Tu eres. GRACIAS por ser mi Madre

A mi Padre

Por haberme enseñado a perdonar y enseñarme desde chico que la vida no es fácil. Todos tus consejos me han servido. GRACIAS.

A Mis Hermanos Armando y Leo

Por darme cariño, amor y consuelo, pero sobre todo por darme su apoyo incondicional en todo momento. Estoy sumamente ORGULLOSO de los dos GRACIAS por ser mis hermanos.

A Jesica

Por haber sido mi novia y brindado tantos momentos maravillosos. Ese cariño, comprensión y amor que me diste, marcaron mi vida para siempre GRACIAS. Nunca te olvidaré.

A mis Abuelos

Aunque no estén con nosotros, estoy seguro que Dios nos juntará algún día. Los extraño.

A mis Amigos

José Luis, Mariana, Víctor y todos aquellos que han dejado huella en mi vida.

José Luis Palomares Franco

Dedicatoria.

Señor

*Gracias por haberme dado la perseverancia y la voluntad
a lo largo de todo este camino y recompensarme
con este título, y te agradezco infinitamente que permitieras
que mi Madre me acompañara en todos esos momentos.*

A mis abuelos.

*Luis y Sara, que aunque ya no se encuentran conmigo,
siempre sentí su amor y apoyo, y se que están orgullosos de su nieto.
Los amo.*

A ti Madre

*Por que me ofreciste todo tu tiempo y cariño, y siempre estuviste
conmigo cuando más cansado me encontraba y me animaste a seguir,
por eso te ofrezco todo mi sacrificio.*

A mi Padre.

*Mil gracias por todo lo que me has dado y sobre
todo por el ejemplo que siempre has tratado de transmitirme.*

A ti Fabiola

*Por ser más que mi novia, una gran amiga y compañera, ofreciéndome
tanto amor y paciencia y gracias por ser parte
de una de las etapas más importantes de mi vida.
Te amo.*

A mi tía Lucha.

*A quién jamás podré agradecer el apoyo y la confianza
que me brindó, a mi y a mi madre, sabiendo que siempre
he podido contar con ella.*

A mis amigos:

*Angélica, Pedro, Víctor, Emmanuel, Misha, ya que sin su amistad
hubiese sido tan difícil haber llegado hasta aquí.*

RESUMEN

Esta tesis se divide en tres partes fundamentales: teoría general del GPS y dos aplicaciones prácticas. 1) Aplicación del GPS Autónomo en el Parque Ejidal San Nicolás y 2) El Lago de Alchichica donde se realiza una medición con GPS Diferencial en tiempo real cinemático.

El Global Positioning System (Sistema de Posicionamiento Global, por sus siglas en inglés) es un sistema de 24 satélites que se encuentran alrededor de nuestro planeta. Dichos satélites continuamente transmiten tres señales en la banda electromagnética. Dichas señales son captadas por receptores en la superficie de la Tierra. Dos de estas señales pueden ser captadas y utilizadas por el sector civil. La tercera banda está restringida a las fuerzas armadas de los Estados Unidos. El GPS autónomo consta de un instrumento y su rango de error en la horizontal es del orden de +/- 15 metros o +/- 5 metros (si puede captar un satélite WAAS). El GPS diferencial utiliza cuando menos dos receptores y a través de un postproceso, puede obtener errores del orden de centímetros en la horizontal. Dichos levantamientos pueden ser realizados en tiempo real bajo algunas condiciones (tiempo real cinemático).

El Ejido San Nicolás Totolapan ubicado en el km 11 del Ajusco tiene la necesidad de tener un plano de su Ejido. Dicho ejido se ha dedicado al ecoturismo, en particular a la bici de montaña y requiere de un mapa base para su superficie que es del orden de 205 hectáreas. El ejido se encuentra cubierto por una densa capa forestal y la escala de las fotografías aéreas no es la adecuada para la elaboración de dicho plano base. Por lo tanto, se decidió probar la utilidad de un GPS autónomo, ya que los árboles bloquean la señal.

El Lago de Alchichica es un lugar donde el Dr. Marín, viene trabajando desde hace tiempo. En este caso, se realizó un levantamiento en tiempo real cinemático para medir el perímetro y el área del lago. Al Dr. Luis Marín le interesa aplicar la técnica con GPS diferencial para obtener la topografía del lago, ya que el Instituto de Geofísica de donde es investigador el Dr. Marín, y un grupo de limnólogos se interesan en conocer las causas por las cuales el Lago presenta salinidad.

Los dos casos estudiados presentan los extremos en condiciones de recepción para el GPS. El primero es muy difícil en el mejor de los casos, y en el segundo se contaron con condiciones óptimas.

ÍNDICE

	Pág.
1. Introducción	1
1.1 Teoría	
Sistemas de Posicionamiento Global (GPS).	
Antecedentes del GPS	
Funcionamiento del GPS	
Tipos y técnicas de medición del GPS	
1.2 Descripción	
2. Metodología	38
2.1 Levantamiento del Ejido San Nicolás Totolapan	
2.2 Levantamiento del Lago de Alchichica	
3. Resultados	44
3.1 Datos obtenidos de la aplicación del GPS autónomo en el Ejido San Nicolás Totolapan	
3.2 Datos obtenidos de la aplicación del GPS diferencial en el Lago de Alchichica	
4. Discusión	54
4.1 Discusión del Ejido San Nicolás Totolapan	
4.2 Discusión del Lago de Alchichica	
5. Conclusiones	70
5.1 Conclusiones Generales	
5.2 Aplicaciones del GPS a la Ingeniería Civil	
6. Bibliografía	75
7. Anexo	76
8. Glosario	77

Lista de Figuras, Tablas, Gráficas y Fórmulas

Figuras	Pág
Figura 1. Segmentos del GPS.	1
Figura 2. Constelación de satélites	2
Figura 3. Distancia del satélite a un punto GPS	4
Figura 4. Intersección de dos esferas	5
Figura 5. Intersección de tres esferas	5
Figura 6. Monitoreo de satélites	13
Figura 7. Mensaje de error enviado por una estación monitora	14
Figura 8. Errores generados por la atmósfera	14
Figura 9. Error provocado por rebote de señal	15
Figura 10. Mala geometría	17
Figura 11. Buena geometría	17
Figura 12. Gráfica representativa del número de satélites y PDOP.	20
Figura 13. Gráfica de satélites con respecto al tiempo	21
Figura 14. Gráfica de elevación de la máscara con respecto al tiempo	22
Figura 15. Dibujo del Cielo	23
Figura 16. Comparación entre Geoide y Elipsoide	24
Figura 17. Alturas medidas al Geoide y al Elipsoide	25
Figura 18. GPS autónomo o de mano utilizado en el levantamiento del Ejido San Nicolás	28
Figura 19. Levantamiento con track y waypoint	54
Figura 20. Levantamiento con track	55
Fotos.	
Foto 1. GPS autónomo	27
Foto 2. Base del GPS diferencial	30
Foto 3. Receptor del GPS diferencial	31
Foto 4. Vereda para bicicleta	38
Foto 5. Desviación de veredas	39
Foto 6. Lago de Alchichica	42
Foto 7. Vereda de bicicleta con mucha densidad de árboles	58
Foto 8. Parte más baja del Ejido	60

	Pág
Foto 9. Zona más despejada del Ejido	63
Foto 10. Panorámica del Lago	67
Tablas	
Tabla 1. Valores del DOP	17
Tabla 2. Resultados del Ejido de San Nicolás	44
Tabla 3. Resultados del Lago de Alchichica	51
Tabla 4. Resumen de los cuatro días de medición	63
Gráficas	
Gráfica 1. Circuitos vs. Tiempo de recepción	57
Gráfica 2. Error promedio vs. Circuitos	59
Gráfica 3. Línea de error promedio	60
Gráfica 4. Circuitos vs. Error máximo	61
Gráfica 5. Porcentajes de puntos dentro de la tolerancia	62
Gráfica 6. Circuitos vs. Error mínimo	62
Fórmulas	
Fórmula 1. Velocidad	6
Fórmula 2 Distancia entre dos puntos	43

1.- INTRODUCCIÓN

1.1 TEORÍA

SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS)

El GPS está compuesto por tres segmentos (figura 1):

- 1) Segmento espacial
- 2) Segmento en tierra
- 3) Segmento de usuarios

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

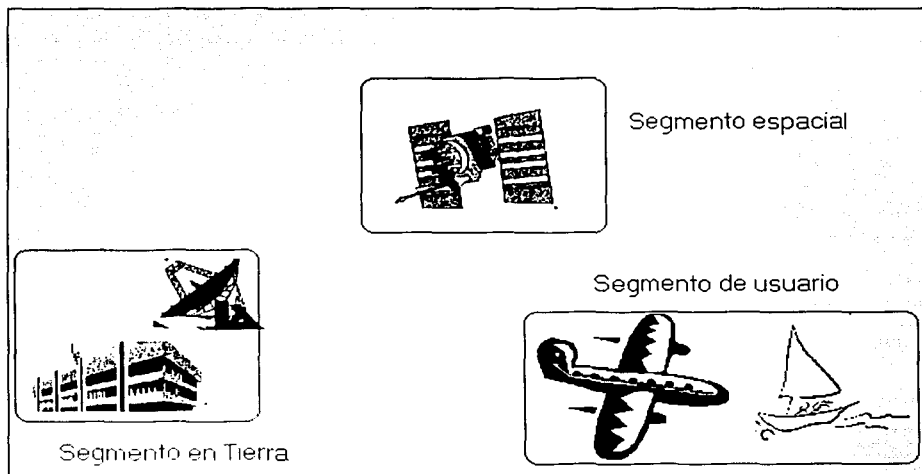


Figura 1. Segmentos del GPS.

El segmento espacial consta de 24 satélites, llamados NAVSTAR o SV's (vehículos espaciales) que orbitan la Tierra cada 12 horas a una altitud de unos 20,200 kilómetros. En toda la constelación, cuatro satélites orbitan en cada uno de seis planos diferentes, inclinados 55 grados al ecuador. Esta distribución está pensada para que al menos estén visibles cuatro satélites sobre cualquier parte del mundo (figura 2). Cada satélite contiene

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

relojes atómicos de alta precisión y cada satélite transmite constantemente señales de radio utilizando su código de identificación único.



Figura 2. Constelación de satélites (Ref. www.mundogps.com)

El segmento en tierra consiste en un grupo de cinco estaciones monitoras con bases terrestres, una estación de control maestra, y cuatro estaciones de carga. Las estaciones monitoras rastrean continuamente los satélites y proporcionan datos a la estación de control maestra. La estación de control maestra calcula las efemérides de los satélites y los coeficientes de corrección de los relojes y los dirigen a una estación de carga. Las estaciones de carga transmiten los datos a cada satélite al menos una vez al día.

El segmento de usuarios consiste en cientos de miles de receptores GPS civiles y militares sobre tierra, mar y aire.

ANTECEDENTES DEL GPS

SISTEMAS DE RADIONAVEGACIÓN

El GPS está muy lejos de los principios de la radionavegación. Después de la Segunda Guerra Mundial hubo varios proyectos para dar la posición de los barcos y aeronaves. Eso

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

inició la construcción de varios presistemas que mejoraron la radionavegación, esos sistemas aún siguen funcionando.

En la actualidad contamos con más de una docena de sistemas de radionavegación como el Omega, el Loran, VOR/DME (Muy alta frecuencia rango omnidireccional / Equipo de medición a distancia), ILS (sistema de instrumento de tierra) y el GPS. Los primeros 4 son sistemas basados en tierra y el GPS está basado en el espacio. Los rusos operan en la actualidad con un sistema llamado GLONASS que es un sistema sumamente parecido al GPS que también cuenta con 24 satélites, junto con otro sistema europeo conocido como Galileo. El Loran y el Omega son dos sistemas muy similares pero que transmiten una onda corta

HISTORIA DEL GPS

El proyecto de GPS inició con el NTS-2 en Junio de 1977, este es la primera plataforma basada en el espacio que transmitió señales de GPS a la Tierra. Aunque inició en esta fecha, el proyecto tardó dos décadas para su uso.

El primer satélite llamado NTS-2 solo funcionó por siete meses. Esto ayudó a conocer el funcionamiento del sistema, y con esto se implementó todo el proyecto completo donde el 22 de febrero de 1978 se mandó el Bloque I de 12 satélites. Desafortunadamente uno de los satélites fue destruido en el lanzamiento del 18 de Diciembre de 1981 y el último de los satélites lanzados fue el 9 de Octubre de 1985. Solamente uno de esta fase aún continúa funcionando.

El Bloque II de satélites comenzó con el lanzamiento del satélite número 14 que fue lanzado el 14 de Febrero de 1989 donde después se terminó de lanzar hasta el satélite número 33 el 28 de Marzo de 1996. El diseño de estos satélites es de once años y medio de vida útil. Los satélites que empiecen a salir de funcionamiento se irán remplazando con el Bloque IIR y el Bloque IIF, los cuales son satélites más robustos y con mayor años de duración que los de las anteriores generaciones.

FUNCIONAMIENTO DEL GPS

a) La Triangulación desde los satélites

La idea general detrás del GPS es utilizar los satélites en el espacio como puntos de referencia para ubicaciones aquí en la tierra. Esto se logra mediante una muy exacta medición de nuestra distancia hacia al menos cuatro satélites, lo que nos permite triangular nuestra posición en cualquier parte de la tierra.

Considerando que la medición de esas distancias nos permiten ubicarnos en cualquier punto sobre la tierra.

Suponiendo que se mide nuestra distancia al primer satélite y resulta ser de 20,000 km (figura 3). Sabiendo que estamos a 20,000 km. de un satélite determinado, no podemos por lo tanto estar en cualquier punto del universo sino que esto limita nuestra posición a la superficie de una esfera que tiene como centro dicho satélite y cuyo radio es de 20,000 km.

A continuación medimos nuestra distancia a un segundo satélite y descubrimos que estamos a 20,000 km del mismo.

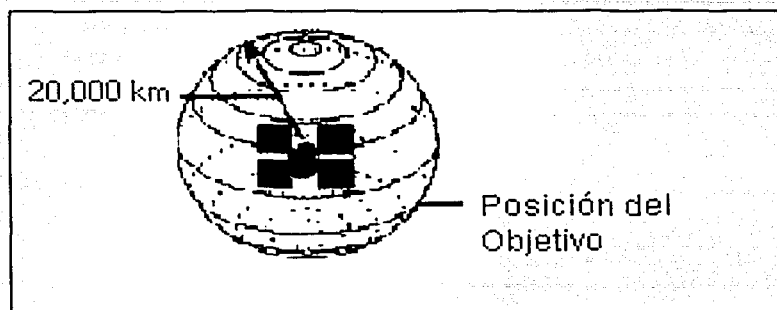


Figura 3. Distancia del satélite a un punto GPS. (Ref. David Wells, Guide to GPS positioning)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Esto nos dice que no estamos solamente en la primer esfera, correspondiente al primer satélite, sino también sobre otra esfera que se encuentra a 20,000 Km. del segundo satélite. En otras palabras, estamos en algún lugar de la circunferencia que resulta de la intersección de las dos esferas (figura 4).

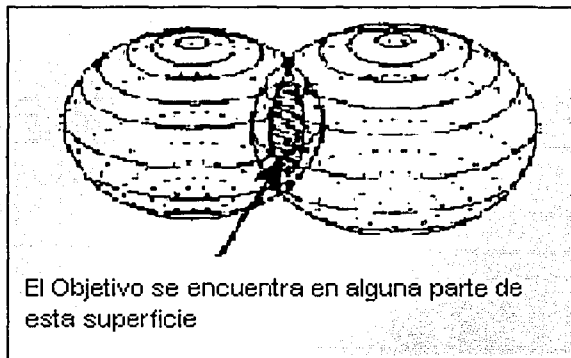


Figura 4. Intersección de dos esferas (Ref. David Wells, Guide to GPS positioning)

Si ahora medimos nuestra distancia a un tercer satélite y descubrimos que estamos a 20,000 km. del mismo, esto limita nuestra posición aún más, a los dos puntos en los cuales la esfera de 20,000 km. corta la circunferencia que resulta de la intersección de las dos primeras esferas (figura 5).



Figura 5. Intersección de tres esferas (Ref. David Wells, Guide to GPS positioning)

O sea, que midiendo nuestra distancia a tres satélites limitamos nuestro posicionamiento a solo dos puntos posibles. Para decidir cual de ellos es nuestra posición verdadera, podríamos efectuar una nueva medición a un cuarto satélite. Pero normalmente uno de los dos puntos posibles resulta ser muy improbable por su ubicación demasiado lejana de la superficie terrestre y puede ser descartado sin necesidad de mediciones posteriores.

b) Medición de las distancias a los satélites

Para saber la distancia de un punto en el espacio se mide el tiempo que tarda una señal emitida por un satélite en llegar a nuestro receptor GPS.

Según la fórmula 1:

$$V = d / t$$
$$D = (V) (t)$$

Fórmula 1. Velocidad

En el caso del GPS se está midiendo una señal de radio, que viaja a la velocidad de la luz, alrededor de 300,000 Km./s. Restando conocer el tiempo de viaje de la señal (ver inciso e).

c) Sincronización de relojes:

El problema de la medición de ese tiempo es complicado. Los tiempos son extremadamente cortos. Si el satélite estuviera justo encima de un punto, a unos 20,000 km de altura, el tiempo total de viaje de la señal sería de algo más de 0.06 segundos. Por lo que se necesitan relojes muy precisos.

Suponiendo que el GPS, y el satélite, generan una señal auditiva en el mismo instante exacto. Suponiendo también que nosotros, parados al lado de nuestro receptor GPS, podamos oír ambas señales.

Se escucharían dos versiones de la señal. Una señal inmediatamente, la generada por nuestro receptor GPS y la otra con cierto atraso, la proveniente del satélite, porque tuvo que recorrer alrededor de 20,000 km para llegar hasta nosotros. Ambas señales no están sincronizadas.

Para saber cual es la magnitud de la demora de la señal proveniente del satélite se puede retardar la emisión de la señal de nuestro GPS hasta lograr la perfecta sincronización con la señal que viene del satélite. El tiempo de retardo necesario para sincronizar ambas señales es igual al tiempo de viaje de la señal proveniente del satélite. Si es de 0.06 segundos, conociendo este tiempo, se multiplica por la velocidad de la luz y obtenemos la distancia hasta el satélite.

$$\text{Tiempo de retardo (0.06 seg.)} \times \text{Vel. de la luz (300,000 Km./seg.)} = \text{Dist. (18,000 km)}$$

d) Señales del GPS

Cada satélite GPS transmite dos señales de radio:

L1 a 1575.42 MHz

L2 a 1227.60 MHz

La señal emitida por el satélite es algo llamado "Código Pseudo Aleatorio".

El Código Pseudo Aleatorio es una parte fundamental del GPS. Físicamente solo se trata de una secuencia o código digital muy complicado. O sea, una señal que contiene una sucesión muy complicada de pulsos "on" y "off".



La señal es tan complicada que casi parece un ruido eléctrico generado al azar. De ahí su denominación de "Pseudo-Aleatorio".

La complejidad del código ayuda a asegurarnos que el receptor GPS no se sintonice accidentalmente con alguna otra señal. Siendo el modelo tan complejo es altamente improbable que una señal cualquiera pueda tener exactamente la misma secuencia.

Dado que cada uno de los satélites tiene su propio y único Código Pseudo Aleatorio, esta complejidad también garantiza que el receptor no se confunda accidentalmente de satélite. De esa manera, también es posible que todos los satélites transmitan en la misma frecuencia sin interferirse mutuamente. Esto también complica a cualquiera que intente interferir el sistema desde el exterior al mismo.

El Código Pseudo Aleatorio le da la posibilidad al Departamento de Defensa de EEUU de controlar el acceso al sistema GPS. Pero hay otra razón para la complejidad del Código Pseudo Aleatorio, una razón que es crucial para conseguir un sistema GPS económico.

El código permite amplificar las señales de GPS. Por esa razón las débiles señales emitidas por los satélites pueden ser captadas por los receptores de GPS sin el uso de grandes antenas.

Códigos

- Código C/A
- Código P
- Código Y
- Fase portadora en banda L
- Mensaje de satélite (Navegación)

Código C/A

El código Común/Adquisición (C/A) es un código de ruido pseudoaleatorio que se emite a la frecuencia de 1.023 MHz. Este código se repite cada milisegundo.

Las ecuaciones para decodificar el código C/A son conocidas y no están clasificadas, por lo cual el código C/A está disponible para aplicaciones civiles. El código C/A es utilizado por muchos receptores civiles para aplicaciones de navegación y de cartografía.

Código P

El código P es un segundo código de ruido pseudo aleatorio que se modula en las señales GPS. Se emite a la frecuencia de 10.23 MHz.

Las ecuaciones para decodificar el código P son conocidas y no están clasificadas, y están disponibles para aplicaciones civiles. Las mediciones con código P se usan para ayudar en el procesamiento de levantamientos GPS por el método Estático rápido.

Código Y

El código Y podría ser considerado como una versión encriptada del código P. En realidad, es un código similar al código P y se puede utilizar en su lugar.

Las ecuaciones para decodificar el código Y están clasificadas y sólo son conocidas por los usuarios autorizados. Por lo tanto, si las autoridades militares de los EE.UU. deciden activar el código Y (acción que a veces ha sido llamada "encriptación del código P"), los usuarios no militares del GPS no podrán utilizar ninguno de ambos códigos, P o Y. La utilización del código Y también se conoce como antiespionaje, o AS.

Existen formas de sobreponerse a la encriptación cuando el Departamento de Defensa de los Estados Unidos activa el código Y. Los receptores Trimble utilizan técnicas de su propiedad que aportan los beneficios de los datos en doble frecuencia, incluso durante periodos de encriptación.

Fase portadora en banda L

Los satélites del Sistema de posicionamiento global utilizan señales portadoras en banda L que se modulan con diversos mensajes que contienen una valiosa información sobre tiempo y posición. Cada satélite emite en dos frecuencias.

La longitud de onda de L1 es de 19 centímetros, mientras que la de L2 es de 24 centímetros.

Mensaje de satélite (navegación) efemérides

El mensaje de navegación de los satélites es un mensaje en baja frecuencia que se transmite a 50 bits por segundo. El mensaje de navegación contiene datos pertenecientes a la salud y posición de los satélites. Los receptores GPS decodifican el mensaje de navegación para obtener información sobre la posición y la salud del satélite. Estos datos decodificados se denominan efemérides de los satélites. El procesamiento de las líneas base y los programas para la planificación de la misión utilizan los datos de efemérides para calcular las líneas base y conocer la disponibilidad de los satélites respectivamente.

e) Control del tiempo

Si la medición del tiempo de viaje de una señal de radio es clave para el GPS, los relojes que empleamos deben ser muy exactos, dado que si miden con un desvío de una milésima de segundo, a la velocidad de la luz, ello se traduce en un error de 300 km.

Por el lado de los satélites, la medición es casi perfecta porque llevan a bordo relojes atómicos de increíble precisión.

Como el satélite y el receptor GPS, deben ser capaces de sincronizar sus Códigos Pseudo Aleatorios para que el sistema funcione. Si los receptores GPS tuvieran que alojar relojes atómicos (cuyo costo está por encima de los \$500,000 a \$1,000,000) la tecnología resultaría demasiado costosa y nadie podría acceder a ellos. Se encontró un diseño en los receptores GPS con relojes mucho menos precisos.

Para obtener una medición tan perfecta se necesita efectuar una medición satelital adicional.

Resulta que si tres mediciones perfectas pueden posicionar un punto en un espacio tridimensional, cuatro mediciones imperfectas pueden lograr lo mismo. Esta idea es fundamental para el funcionamiento del sistema GPS.

Si los relojes de nuestros receptores GPS fueran perfectos, entonces todos los rangos (distancias) a los satélites se interceptarían en un único punto (que indica nuestra posición). Pero con relojes imperfectos, una cuarta medición, efectuada como control cruzado, no interceptará con los tres primeros. De esa manera la computadora de nuestro GPS detectará la discrepancia y atribuirá la diferencia a una sincronización imperfecta con la hora universal.

Dado que cualquier discrepancia con la hora universal afectará a las cuatro mediciones, el receptor buscará un factor de corrección único que siendo aplicado a sus mediciones de tiempo hará que los rangos coincidan en un solo punto. Dicha corrección permitirá al reloj del receptor ajustarse nuevamente a la hora universal y de esa manera tenemos un reloj atómico. Una vez que el receptor GPS aplica dicha corrección al resto de sus mediciones, obtenemos un posicionamiento preciso.

Una consecuencia de este principio es que cualquier GPS debe ser capaz de sintonizar al menos cuatro satélites de manera simultánea. En la práctica, casi todos los GPS en venta actualmente, acceden a más de 6 y hasta 12 satélites simultáneamente. Ahora bien, con el Código Pseudo Aleatorio como un pulso confiable para asegurar la medición correcta del tiempo de la señal y la medición adicional como elemento de sincronización con la hora universal, tenemos todo lo necesario para medir nuestra distancia a un satélite en el espacio. Pero, para que la triangulación funcione necesitamos conocer no sólo la distancia sino que debemos conocer dónde están los satélites con exactitud.

Pseudodistancias

El error del reloj del satélite es conocido y se transmite en el mensaje de cada uno de los satélites. El error del reloj del receptor ha de ser resuelto. Mediante la comparación de la hora de transmisión de la señal (en el satélite) con la hora de llegada de la señal (en el receptor) se puede calcular la distancia entre el satélite y el receptor. Esta distancia conlleva algún error inherente, debido en primer lugar a errores en el reloj del receptor y en segundo lugar a errores en el reloj del satélite así como a los efectos atmosféricos. Debido a que la distancia al satélite contiene estos errores, se le conoce como pseudodistancia.

La precisión de la pseudodistancia depende del código del que se derive: código C/A o código P. Las pseudodistancias de código C/A aportan posiciones del receptor con una menor precisión, dependiendo de varios factores. Las pseudodistancias de código P proporcionan posiciones autónomas con una precisión mayor.

f) Localización de los satélites en el espacio.

Un satélite a gran altura se mantiene estable a la altura de 20,200 km que es en realidad un gran beneficio para este caso, porque algo que está a esa altura está bien despejado de la atmósfera. Eso significa que orbitará de manera regular y predecible mediante ecuaciones matemáticas sencillas.

La Fuerza Aérea de los EEUU colocó cada satélite de GPS en una órbita muy precisa, de acuerdo al Plan Maestro de GPS. En tierra, todos los receptores de GPS bajan de los satélites un almanaque programado que les informan donde está cada satélite en el espacio, en cada momento.

Las órbitas básicas son muy exactas pero con el fin de mantenerlas así, los satélites de GPS son monitoreados de manera constante por el Departamento de Defensa.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

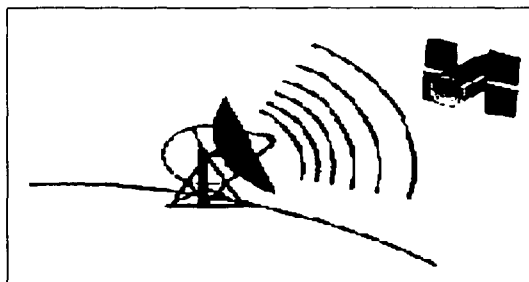


Figura 6. Monitoreo de satélites (Ref. David Wells, Guide to GPS positioning)

Ellos utilizan radares muy precisos para controlar constantemente la altura exacta, posición y velocidad de cada satélite. Los errores que ellos controlan son los llamados errores de efemérides, o sea evolución orbital de los satélites.

Estos errores se generan por influencias gravitacionales del sol y de la luna y por la presión de la radiación solar sobre los satélites. Estos errores son generalmente muy sutiles pero si queremos una gran exactitud debemos tenerlos en cuenta.

g) Corrección del mensaje

Una vez que el Departamento de Defensa ha medido la posición exacta de un satélite, vuelven a enviar dicha información al propio satélite. De esa manera el satélite incluye su nueva posición corregida en la información que transmite a través de sus señales a los GPS (figura 7).

Esto significa que la señal que recibe un receptor de GPS no es solamente un Código Pseudo Aleatorio con fines de medición de tiempo. También contiene un mensaje de navegación con información sobre la órbita exacta del satélite. Con una medición de tiempo perfecta y la posición exacta del satélite podríamos pensar que estamos en condiciones de efectuar cálculos perfectos de posicionamiento.

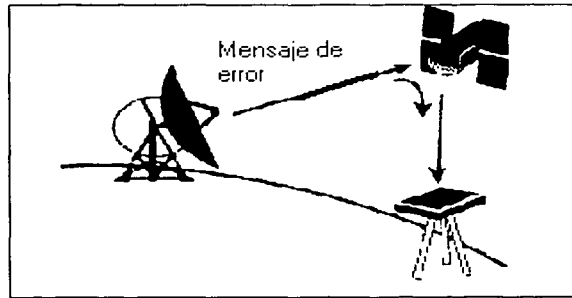


Figura 7. Mensaje de error enviado por una estación monitora (Ref. David Wells, Guide to GPS positioning)

h) Corrección de Errores

En el mundo real hay muchas cosas que pueden degradar la señal de GPS. Para aprovechar al máximo las ventajas del sistema un buen receptor de GPS debe tener en cuenta una amplia variedad de errores posibles.

La velocidad de la luz sólo es constante en el vacío. Una señal de GPS pasa a través de partículas cargadas en su paso por la ionosfera y luego al pasar a través de vapor de agua en la troposfera pierde algo de velocidad, creando el mismo efecto que un error de precisión en los relojes (figura 8).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

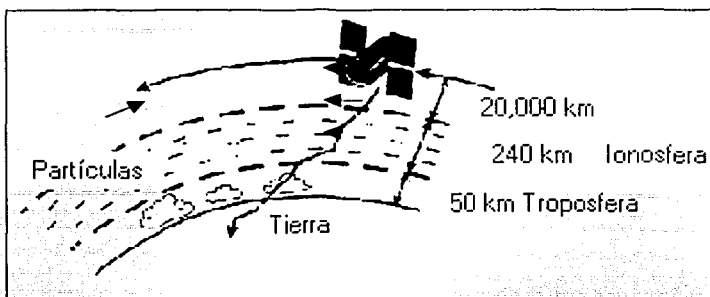


Figura 8. Errores generados por la atmósfera (Ref. David Wells, Guide to GPS positioning)

Existen un par de maneras de minimizar este tipo de error. Por un lado, predecir cual sería el error tipo de un día promedio. A esto se le llama modelación, pero por supuesto, las condiciones atmosféricas raramente se ajustan exactamente al promedio previsto.

Otra manera de manejar los errores inducidos por la atmósfera es comparar la velocidad relativa de dos señales diferentes. Esta medición de doble frecuencia es muy sofisticada y solo es posible en receptores GPS muy avanzados.

Los problemas para la señal de GPS continúan cuando llega a la tierra. La señal puede rebotar varias veces debido a obstrucciones locales antes de ser captada por nuestro receptor GPS, aumentando el tiempo de arribo de la onda y por lo tanto el cálculo de la distancia es mayor (figura 9).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

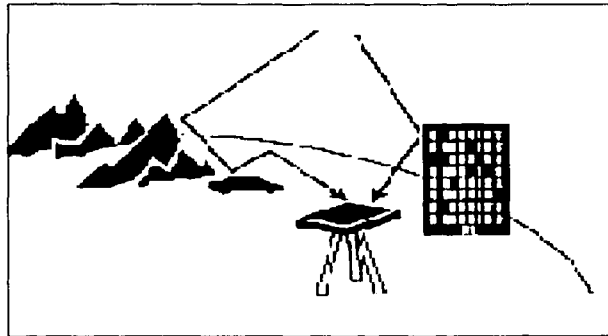


Figura 9. Error provocado por rebote de señal (Ref. David Wells, Guide to GPS positioning)

Este error es similar al de las señales fantasma que podemos ver en la recepción de televisión. Los buenos receptores GPS utilizan sofisticados sistemas de rechazo para minimizar este problema.

Aún siendo los satélites muy sofisticados no tienen en cuenta minúsculos errores en el sistema. Los relojes atómicos que utilizan son muy precisos, pero no son perfectos. Pueden ocurrir pequeñas discrepancias que se transforman en errores de medición del tiempo de viaje de las señales.

Aunque la posición de los satélites es controlada permanentemente, tampoco pueden ser controlados a cada segundo. De esa manera pequeñas variaciones de posición o de efemérides pueden ocurrir entre los tiempos de monitoreo.

i) Dilución de la precisión (DOP)

La acumulación de todos los errores es multiplicado por un factor que oscila entre 1 y 6, este representa el valor de el DOP que es, la medición de la geometría que se tiene de la constelación de los satélites. La idea es tener la orientación de cuatro satélites o más que tengan una distancia entre ellos igual alrededor del receptor es decir arriba y abajo, pero como se trata de nuestra posición en la Tierra no es posible esto, ya que la misma Tierra taparía la señal por si misma.

La mejor orientación, es tener un satélite directamente arriba y los otros tres espaciados a una misma distancia y además con una elevación de 25 a 30 grados, esta configuración produce un valor mínimo del DOP.

La figura 10 nos muestra la geometría pobre. Un bajo número en el DOP equivale a una buena configuración satelital, este DOP es para un instante ya que va cambiando con el tiempo.

Cuando los satélites tienen una gran distancia entre ellos, el área de intersección en los dos puntos de la circunferencia es donde es posible tener un rango de error relativamente pequeño y esta área es denominada el "área de ambigüedad" (figura 11). Pero cuando los satélites están muy cercanos, se genera también un rango de error que es considerablemente largo a comparación de cuando están alejados.

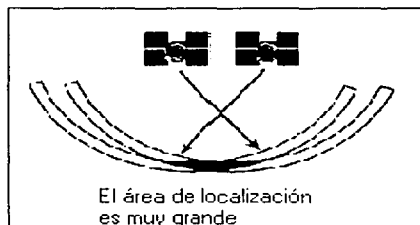


Figura 10. Mala geometría

(Ref. David Wells, Guide to GPS positioning)

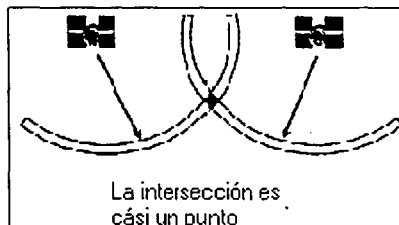


Figura 11. Buena geometría

Las circunferencias que se intersecan tienen como centro las coordenadas UTM del Satélite, y radio la distancia del Satélite al GPS

Componentes en el DOP:

PDOP es la precisión de la dilución de precisión, este comprende las tres dimensiones, alguna vez también llamado DOP esférico.

HDOP es la dilución de la precisión en la horizontal (X, Y).

VDOP que es la dilución de la precisión en la vertical

TDOP es la dilución de la precisión en el tiempo

CLASE	DOP
Muy bueno	1-3
Bueno	4-5
Malo	≥ 6

Tabla 1. Valores del DOP

Mediciones con valores superiores a 6, raramente son usadas.

j) Los errores intencionales

El Gobierno Norteamericano que pudo gastar 12,000 Millones de dólares para desarrollar el sistema de navegación más exacto del mundo, está degradando intencionalmente su exactitud. Dicha política se denomina "Disponibilidad Selectiva" y pretende asegurar que ninguna fuerza hostil o grupo terrorista pueda utilizar el GPS para dirigir armas certeras.

Básicamente, el Departamento de Defensa introduce cierto "ruido" en los datos del reloj satelital, lo que a su vez se traduce en errores en los cálculos de posición. El Departamento de Defensa también puede enviar datos orbitales ligeramente erróneos a los satélites que estos reenvían a los receptores GPS como parte de la señal que emiten. Estos errores en su conjunto son la mayor fuente unitaria de error del sistema GPS. Los receptores de uso militar utilizan una clave encriptada para eliminar la Disponibilidad Selectiva y son, por ello, mucho más exactos.

Existe una forma de GPS, denominada GPS Diferencial, que reduce significativamente estos problemas.

k) Niveles de precisión del GPS

Tenemos dos tipos de navegación y posicionamiento del GPS:

El SPS (Servicio de posicionamiento estándar)

El PPS (Servicio de posicionamiento de precisión)

El PPS es el de alta precisión, velocidad y de servicio de Timing el cual es usado primeramente por los militares y después por otras personas autorizadas. También en ciertas condiciones podrá ser usado por los civiles que tengan un equipo especializado.

El SPS ofrece una precisión menor a la del PPS, pero es accesible para todos los usuarios con cualquier equipo de GPS. En este servicio tendremos diferentes tipos de técnicas que mejorarán la precisión.

l) Mascara o Mascara de Elevación

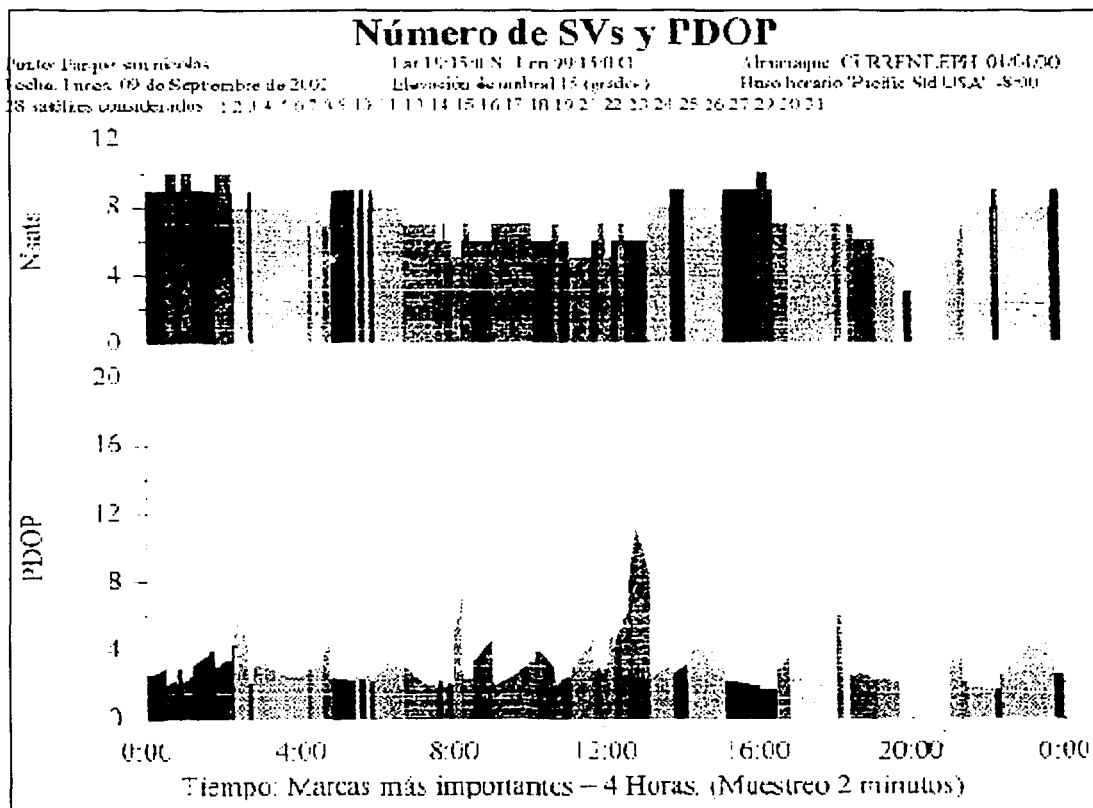
La Máscara de Elevación es aquel ángulo medido desde la horizontal del receptor, el valor mas común es el de 10 a 15 grados, Cualquier tipo de GPS que tenga la función de Máscara de Elevación podrá eliminar a los satélites que se encuentren ubicados cerca del horizonte.

m) Planeación (mission planning)

Es una herramienta que nos permite saber cual es la condición que se tendrán en el campo. Para poder planear la medición será únicamente necesario bajar datos recientes a un receptor GPS, posteriormente, se transfiere a la computadora para que así esta tenga las efemérides y sólo bastará dar la fecha y posición del punto al que vamos a ir y nos dará 4 gráficas (estas gráficas fueron obtenidas de la herramienta mission planning del Software del GPS).

La gráfica 1 nos indica número de Satélites y PDOP para la constelación de satélites determinada, dibujados ambos en función del tiempo.

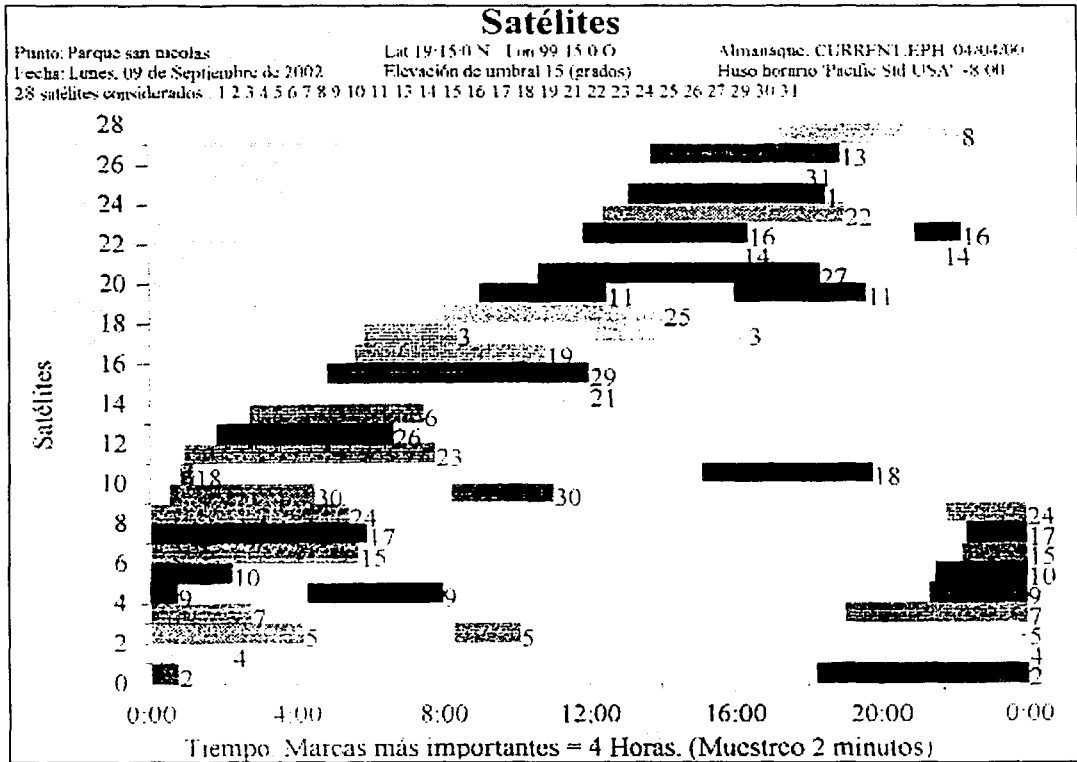
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Esta gráfica es para las coordenadas de la entrada del ejido San Nicolás Totolapan para el día 9 de Septiembre del 2002. Podemos ver que el PDOP más alto se tiene a las 20:40. Se rebasa el PDOP permitido de 6 a las 2:20, 8:10, 12:50 y 20:40. Este valor pobre de PDOP no necesariamente es provocado por el número de satélites que se tienen.

Figura 12. Gráfica representativa del número de satélites y PDOP.

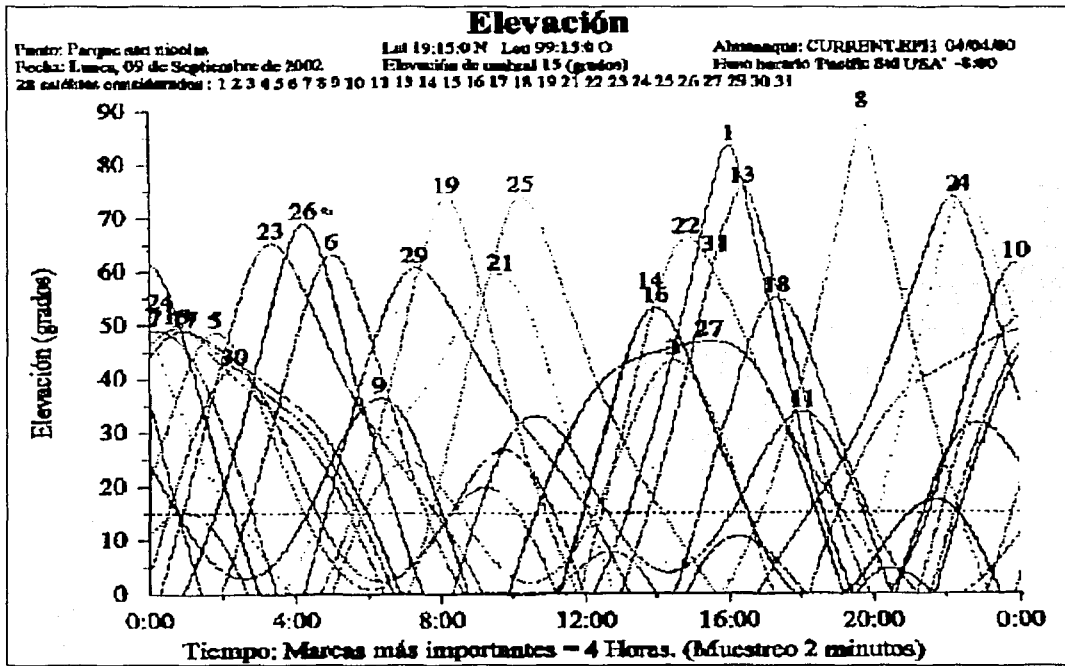
La gráfica 2 muestra los satélites disponibles en función del tiempo. Cada satélite en buenas condiciones que esté presente en el almanaque se dibuja cuando sale por encima del horizonte local.



Obsérvese que los satélites pueden salir y ponerse una o dos veces durante el día. En este caso, las rupturas en el seguimiento están representadas por vacíos en el gráfico de la barra de disponibilidad del satélite.

Figura 13. Grafica de satélites con respecto al tiempo

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

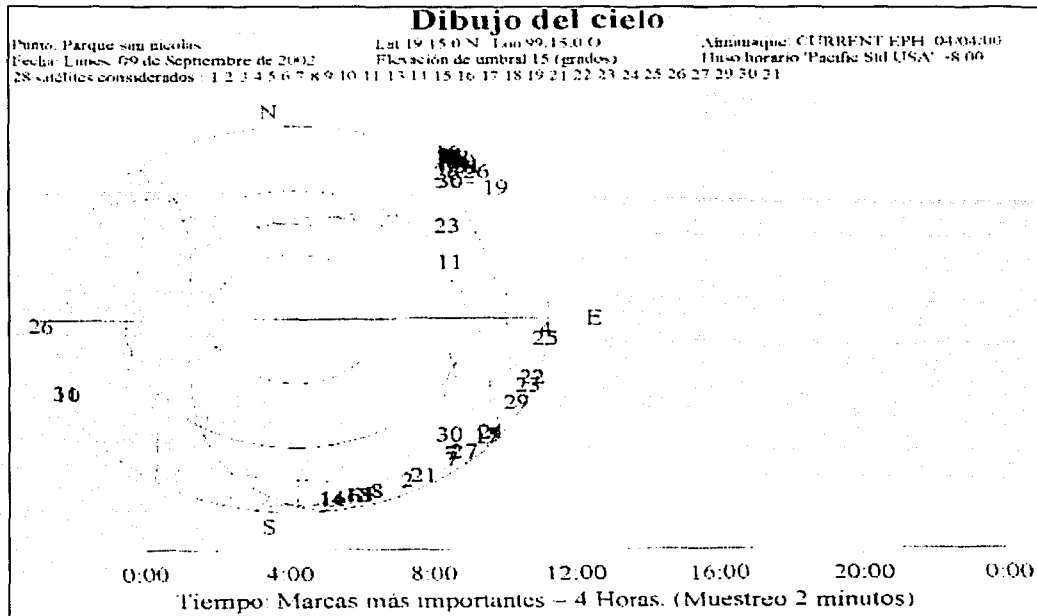


En esta tercera gráfica tenemos representado cada satélite por cada línea en donde su cresta se muestra el número de satélite correspondiente. En el eje de las ordenadas tenemos el ángulo de elevación con respecto a la horizontal y en el eje de las abscisas el tiempo.

Figura 14. Gráfica de elevación de la máscara con respecto al tiempo

La gráfica 4 produce un gráfico polar que muestra las sendas u órbitas de los satélites disponibles a lo largo del intervalo de tiempo del gráfico, representándose la elevación de cada satélite por la dimensión radial; y su azimut por la dimensión angular. El resultado equivale aproximadamente a mostrar las sendas de los satélites como aparecerían ante un observador que mirase hacia abajo desde un lugar directamente encima del punto de medición actual y más allá de las órbitas de los satélites GPS.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



El fondo del dibujo se divide en tres círculos primarios en el horizonte 0°, 30°, y 60°. Obsérvese que el horizonte es el círculo extremo exterior. El cenit (90°) está en el centro del gráfico. También se muestra la máscara de elevación.

Figura 15. Dibujo del Cielo

n) Problemas de medición a distancia

Tenemos dos métodos para realizar mediciones a distancia donde no se tiene recepción, el primer método consiste en obtener las coordenadas de un punto que no se tiene recepción a partir de otro que si la tiene. Por ejemplo cuando se quiere la posición de un hidrante que se localiza debajo de un puente y del otro lado del río, se podrá poner el GPS a distancia, en un lugar donde se tenga recepción. Con los métodos tradicionales (distancia y rumbo) se realizará una medición del punto conocido (GPS) hacia el hidrante y con esto el GPS nos dará las coordenadas del hidrante.

El segundo método es usando un EDM (Medición electrónica a distancia) el cual es un láser. Este es de un rango de dos ondas que manda fuera del láser a un objeto donde rebota en el punto de interés y se posiciona en un punto con coordenadas conocidas. El láser traslada las coordenadas de su ubicación al punto desconocido.

Muchos receptores tienen este aparato que dará la medición de la distancia y el ángulo con los cuales es suficiente información para obtener la posición del objeto. Este láser puede funcionar con una precisión razonable a una distancia de 100 a 200 metros, claro que con estas mediciones tendremos más error que si se hace directamente la medición.

n) Sistemas de coordenadas geodésicas

El sistema de coordenadas geodésicas se puede definir como una serie de reglas de especificación de que los valores de coordenadas serán asignadas a la posición de la superficie terrestre, definiendo X, Y y Z.

Regularmente pensamos en la Tierra como una esfera, pero en realidad es un geoide con una infinidad de montañas y valles. La variación del cuerpo de la Tierra se puede medir por la gravimetría que es la variación del campo gravitacional en la Tierra el cual se ve afectado por la cantidad de masa que se tenga en la zona.

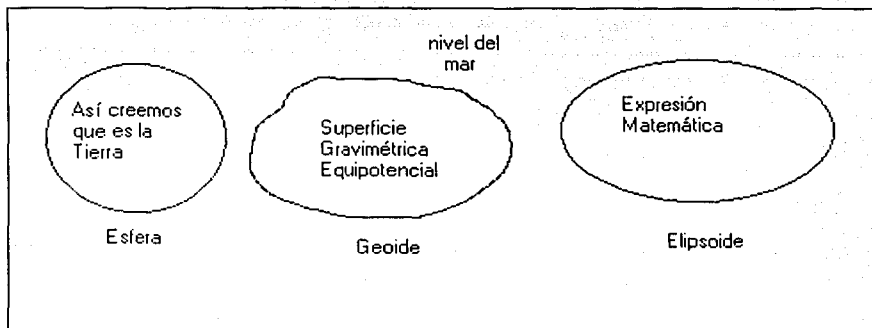
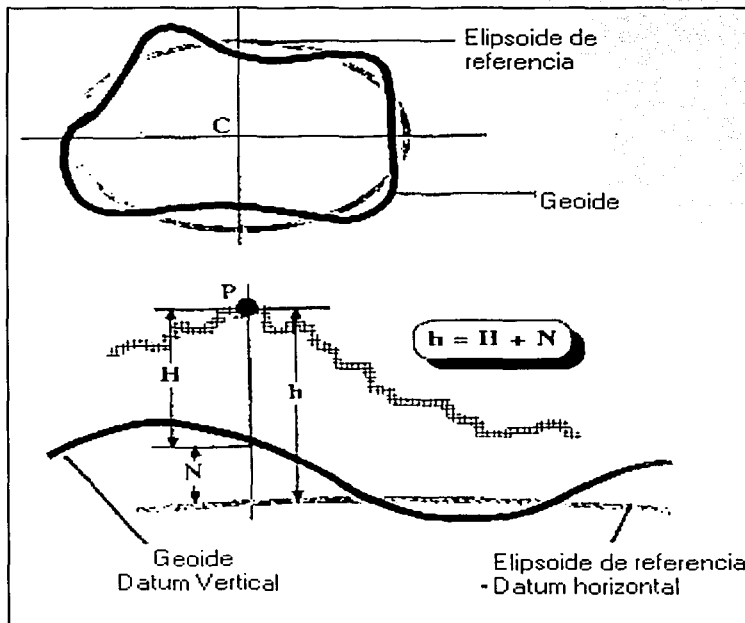


Figura 16. Comparación entre Geoide y Elipsoide

Entonces podremos concluir que:

ELIPSOIDE	GEOIDE
Es una expresión matemática	Es una definición física
Es una superficie sencilla	Es una superficie complicada
Descrita con 3 parámetros	Descrita con una infinidad de parámetros
Esta no puede ser medida con aparatos	Puede ser medida con aparatos.

El GPS realiza su medición con base al elipsoide que no es igual que la altura ortométrica es decir no hace mediciones con respecto al nivel del mar (figura 12)



Ref. Capítulo I, Pág. 5, Guide To GPS Positioning. David Wells

Figura 17. Alturas medidas al Geoide y al Elipsoide

WGS 84

El último de los Sistemas Geodésicos del Mundo de 1984 o WGS 84. El origen del WGS84 está basado en el centro de masa de la Tierra. El elipsoide del WGS84 es el datum, o medición de referencia y esencialmente idéntico al NAD83 que es también el datum de todo el mundo.

La Agencia de Mapeo de la Defensa (DMA) es la que se involucró desde 1960 en el WGS. El WGS84 representa el modelo de la tierra de forma geométrica, geodésica y gravitacional. El sistema WGS se va mejorando con el tiempo así que es muy probable que en un futuro encontremos otro.

Las cartas del INEGI están realizadas con en el Datum NAD27. Recientemente se ha estado trabajando con el Datum ITRF.

TIPOS Y TÉCNICAS DE MEDICIÓN DEL GPS

GPS AUTÓNOMO

Dentro del sistema GPS existen dos modalidades de aparatos uno el diferencial y otro el autónomo donde este último requiere de un receptor GPS, una computadora, el software y hardware para conectar a ambos (la computadora y el software sólo son necesarios para ciertas aplicaciones). No sólo realiza mediciones de puntos si no también tiene una serie de funciones las cuales dependen del tipo de GPS autónomo (estas funciones se describen mas adelante).

El GPS autónomo o de mano tiene tres herramientas diferentes para realizar mediciones las cuales son:

- 1) Track: Es el conjunto de puntos registrados automáticamente por el GPS, a medida que nos movemos. Se realiza con una frecuencia temporal determinada, y que quedan almacenados en la memoria. Se compone, en definitiva, de la latitud y la longitud

correspondientes a cada punto almacenado, así como de la fecha y la hora, y en algunos modelos de GPS, también es registrada la altitud. El track, una vez registrado en el GPS, se puede guardar en una computadora mediante los programas adecuados y el cable de conexión del GPS a la computadora.

2) Waypoints: Es el nombre que se le da a los "lugares de referencia" en los GPS representado por un punto.

Una de las características más importantes de los receptores GPS es la de poder grabar o marcar una determinada posición a través de la función waypoint, la cual generalmente podremos asociar un nombre (o incluso un icono).

3) Ruta: Conjunto de puntos interconectados, de manera que definen un camino. Una ruta es una agrupación en secuencia de waypoints la cual contiene una posición de partida y una final, así como toda una serie de localizaciones intermedias a lo largo del trayecto

Podemos, a partir de un mapa digitalizado, o una imagen escaneada de un mapa convenientemente calibrada, crear nosotros mismos una ruta trazando el itinerario sobre el mapa. Luego sólo tenemos que transmitir la ruta al receptor. Y por último, también podemos editar una ruta, es decir, hacer modificaciones sobre la ruta original, añadir nombres, anotaciones, etc., además de conocer distancia, desnivel, tiempos parciales, y demás estadísticas de la ruta. Todo esto con el Software adecuado.

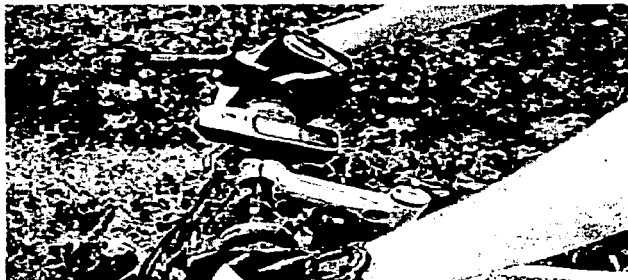


Foto 1 GPS autónomo

Existen una gran cantidad de marcas y tipos de GPS autónomo en el mercado, los cuales tienen diferentes características cada uno y son diseñados para distintas necesidades, dividiendo en dos categorías los GPS de mano o autónomos encontramos: GPS básicos y GPS para carretera.

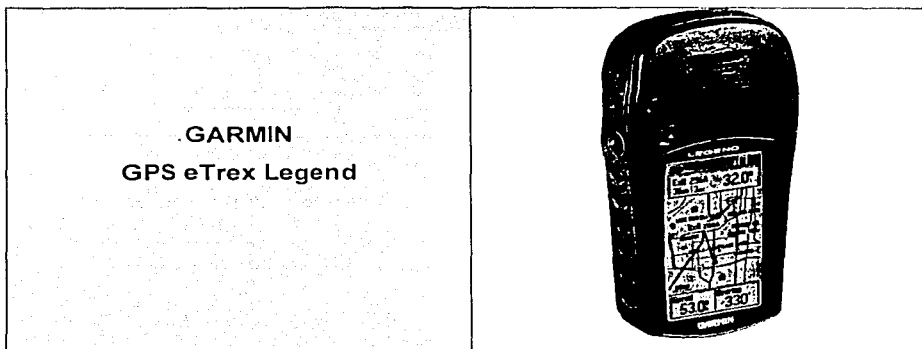


Figura 18. GPS autónomo o de mano utilizado en el levantamiento del Ejido San Nicolás
(Ref. www.garmin.com)

Comparación de algunos productos eTrex (Ref. www.garmin.com)

	eTrex	eTrex Summit	eTrex Legend	eTrex Venture	eTrex Vista	eTrex Camo
Receptor	12 canales	12 canales	12 canales	12 canales	12 canales	12 canales
Numero de Waypoints	500	500	500	500	500	500
Capacidad en Memoria	No aplica	No aplica	8 MB	1 MB	24 MB	No aplica
# de Rutas / # de Waypoints por Ruta	1/50	20/50	20/50	20/50	20/50	1/50
Basemap	N/A	N/A	Carreteras de América o del Atlántico o del Pacifico Base de Datos de las Marina	Base de datos de las ciudades del Mundo	Carreteras de América o del Atlántico o del Pacifico Base de Datos de las Marina	N/A
Batería	22 HR (2AA)	22 HR (GPS únicamente) 13 HR (GPS y Compás)	18 HR (2 AA)	20 HR (2 AA)	12 HR (2 AA)	22 HR (2AA)
Cálculo de Área	No	No	Si	Si	Si	No
Modo de Trackback	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Peso	5.3 oz.	5.3 oz.	5.3 oz.	5.3 oz.	5.3 oz.	5.3 oz.
Recepción de WAAS	N/A	N/A	Si	Si	Si	N/A
Barómetro y Altimetro	No aplica	Si	No aplica	No aplica	Si	No aplica
Calculadora de Caza y Pesca	N/A	N/A	Si	Si	Si	Si
Página de Información del Cielo	No	No	Si	Si	Si	Si
Proximidad de Waypoints	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Calendario	N/A	N/A	Si	Si	Si	N/A
Rango de Voltaje	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5

GPS DIFERENCIAL

Para mediciones diferenciales es necesario dos receptores, uno de estos la Base (foto 2) que se coloca en un punto donde se conozca su posición exacta. El segundo receptor que comúnmente se llama Rover o móvil (foto 3) recopila los datos de los puntos que no se conocen en el campo. Es muy importante que la Base y el Móvil recopilen los datos de los mismos satélites y al mismo tiempo.

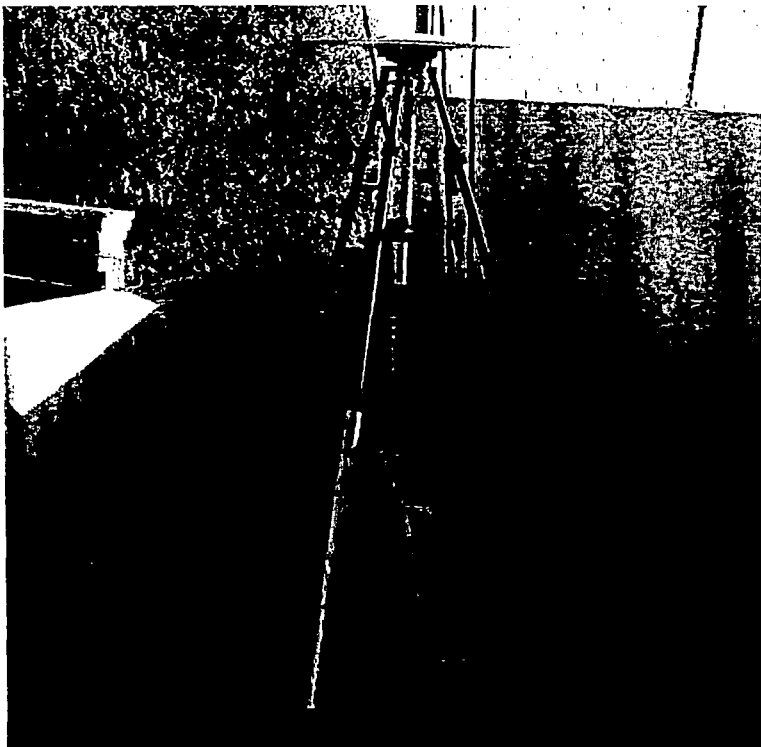


Foto 2. Base del GPS diferencial

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Foto 3. Receptor del GPS diferencial.

La Base se encuentra en una posición que se conoce, recibe también una posición de los satélites. Con la diferencia entre la posición desconocida y la base se deriva la posición de un vector de desplazamiento, o diferencial, que puede ser calculado. La corrección diferencial anterior se aplica a las coordenadas recibidas por el Móvil.

La corrección de los datos es obtenida de la base, que se aplica a los datos recolectados por el Móvil después de su medición.

Una importante consideración que se debe hacer es la longitud de la "Línea Base", la cual es la distancia que hay entre la Base y el Móvil. Esto es porque si el Móvil tiene una distancia muy grande, digamos 500 km, es posible que los dos receptores estén observando uno o

más satélites diferentes. Esto es posible debido a que las condiciones de ionosfera/troposfera sean diferentes. Además, con esa longitud la magnitud del error no será la misma para ambos receptores y la exactitud de la corrección diferencial decrece progresivamente. La distancia de la línea base deberá ser menor a 300 km. El acarreamiento de la posición de la fase diferencial es crítica ya que se aumenta el error entre 1 y 10 p.p.m. de error. Esto significa que a 100 km de la línea de base podrá tener un error de 10 cm. a 1 m de error. Por lo tanto, para minimizar el error mencionado anteriormente es necesario tener líneas base menores a 20 km.

Si la base comienza a recolectar datos antes que el Móvil lo comience a hacer o que continúe recolectando datos después de que ya haya acabado el Móvil, estará bien realizada la medición. No estará bien si sucede lo contrario.

Para el equipo utilizado la Base se prende al inicio del levantamiento y hasta que se regrese de haber recopilado datos con el Móvil (no en todos los equipos GPS diferencial se requiere de este procedimiento). El Móvil sólo se prende cuando se van a capturar los datos deseados y se apaga cuando se terminan las mediciones. Una vez que se recopilaron los datos con el Móvil, la base podrá ser apagada. Los datos de ambos receptores se bajarán a la computadora para procesar los datos de los dos o más receptores. Muchos programas tienen una parte rudimentaria para hacer los mapas permitiendo al usuario ver simultáneamente los datos corregidos y los no corregidos.

El postproceso es el método que se utiliza para obtener una mayor precisión de las mediciones realizadas, que es el análisis de los datos crudos en gabinete por medio de una computadora y el software necesario.

CORRECCIÓN EN TIEMPO REAL

En ocasiones es necesario saber la posición en tiempo real, es decir, cuando estamos realizando el levantamiento. El concepto principal de este tipo de proceso es que la corrección diferencial se realiza con el móvil y la base.

TIPOS DE MEDICIÓN DIFERENCIAL

- Levantamientos Estático y Estático Rápido
- Levantamientos cinemáticos
- Levantamientos cinemáticos continuos y móviles

Levantamientos estáticos / estático rápidos:

A continuación se describen las diferencias que existen entre los datos capturados por una sesión de levantamiento Estático y los obtenidos en una del tipo Estático Rápido.

En las sesiones Estáticas Rápidas, el receptor se mueve a varios puntos y permanece estacionario mientras captura datos en cada uno de esos puntos, no captura datos cuando el receptor se traslada de un punto a otro, y además, captura datos durante menos tiempo que la sesión estática

La distinción más importante entre Estático y Estático Rápido radica en la duración de tiempo que el receptor emplea en el registro de datos. Este tiempo depende del tipo de aplicación del usuario, de la longitud de la línea base y del tipo de receptores que se esté utilizando

Los tiempos de ocupación de las mediciones estáticas pueden durar entre 60 minutos y varias horas como por ejemplo 24 horas para aplicaciones geodésicas. Los tiempos de ocupación para las mediciones Estático Rápidas duran cerca de ocho minutos para los levantamientos realizados con receptores de frecuencia doble, pero pueden durar más tiempo dependiendo de las condiciones locales y de la geometría de los satélites.

Por lo general, las líneas base largas (mayores a 20 km) necesitan tiempos de ocupación mayores. Cuanto mayor sea el tiempo, mayor será la probabilidad de resolver el vector. El tiempo necesario que hay que permanecer en una estación determinada depende de la geometría de los satélites. El tiempo de ocupación disminuye a medida que aumenta el número de satélites a la vista. Asimismo, los tiempos de ocupación están en función del tipo de línea base que se esté observando. Por lo general, cuanto más largas sean éstas,

mayores serán los tiempos de ocupación, sin que importe demasiado la constelación de satélites.

Los métodos de levantamiento Estático y Estático Rápido garantizan las precisiones GPS más altas. Los mejores resultados normalmente se obtienen cuando se planifica con anticipación el uso de sesiones de captura Estática y Estática Rápida de forma conjunta.

Levantamientos Cinemáticos:

La diferencia principal que existe entre la sesión de levantamiento cinemático y las sesiones del tipo estática o estática rápida reside en que el receptor se mueve mientras captura datos. Normalmente los receptores no permanecen estacionarios cuando registran datos cinemáticos.

Otra distinción importante es el tiempo de ocupación. En la medición cinemática, el tiempo de ocupación se reduce drásticamente hasta segundos, dependiendo de la aplicación. Esto permite un levantamiento muy eficiente en el que pueden capturarse muchos puntos de datos en poco tiempo.

Sin embargo, esta mayor eficacia tiene sus desventajas: las precisiones que se obtienen son menores que las generadas con los métodos estático y estático rápido; y los tiempos de ocupación menores facilitan los errores por trayectoria múltiple, ya que se cuenta con menos datos..

La medición cinemática necesita una fase de inicialización para poder resolver la ambigüedad de la señal GPS cuando se consigue el enlace con cuatro satélites. Esta ambigüedad debe solucionarse durante el procesamiento con el fin de obtener los resultados de alta precisión que requieren las aplicaciones topográficas.

Una vez lograda la inicialización, se pueden usar tiempos de ocupación cortos en los puntos topográficos, y el software de procesamiento puede aplicar la inicialización (la inicialización es el tiempo necesario para lograr la recepción al GPS de los datos de los satélites

necesarios para obtener la precisión deseada, aunque solo se necesitaría la recepción de cuatro satélites con buena geometría, es más factible obtener seis u ocho satélites con una geometría regular). Así pues, una vez lograda la inicialización, sólo necesitará un tiempo de ocupación que le permita capturar datos suficientes para obtener la nueva posición.

Levantamientos Cinemáticos Continuos ó Móviles:

Los levantamientos cinemáticos continuos permiten realizar las operaciones siguientes: Referenciar características topográficas, tales como perfiles, secciones transversales, y curvas de nivel o referenciar las trayectorias de vehículos en movimiento, tales como aviones, barcos, vehículos. Los eventos se generan en el receptor cuando se envía una señal al puerto de éste último, lo que permite que se almacene la marca del evento.

En los levantamientos cinemáticos continuos, las líneas base pueden resolver la posición del receptor no sólo cuando se encuentra estacionario, sino también la de todas las observaciones GPS efectuadas con el receptor en movimiento. Las mediciones topográficas, por ejemplo, pueden realizarse registrando datos continuamente en una zona del proyecto, siempre que se preste suficiente atención a las alturas de las antenas.

Ya que los levantamientos cinemáticos continuos proporcionan posiciones al receptor, en cada momento; esta técnica también puede utilizarse para resolver la posición del receptor en un momento determinado. Para ello, el procesador de líneas base utiliza una o más posiciones a cada lado del evento junto con una estrategia de interpolación; con el fin de determinar la posición del receptor en un determinado momento.

WAAS

El Wide Area Augmentation System es un sistema de satélites adicionales para navegación y sistema de aterrizaje de aerolíneas. El WAAS es una parte del WAS y la otra parte es LADGPS (Local Aerea Differential GPS).

La cobertura sale a flote a 30,500 metros a través del mar en Estados Unidos, en Alaska, Hawai, Puerto Rico y muchos otros lugares en el Golfo de México incluyendo México.

El WAAS consiste en una geoestacionaria comunicación con los satélites. Tenemos también la base en tierra y la estación maestra de área cuadrículada (WAS). Los datos del GPS serán recibidos por la base en tierra la cual mandará los datos a la estación maestra. Entonces la estación en tierra será la que determine la corrección diferencial y se conectará después con los satélites donde las señales del DGPS serán retransmitidas a el usuario GPS en la frecuencia L1 (esto fue implementado en el año de 1998).

El LADGPS da servicios a aeropuertos usando su base en tierra para transmitir, a esto se le llama Pseudo-Satélite, este transmite señal de GPS. Este sistema logrará transmitir una precisión local de DGPS con una precisión del orden de \pm cinco metros en X, Y. Muchos de los nuevos GPS de mano pueden captar estos satélites.

1.2 Descripción

En esta tesis se aplica la tecnología del GPS a la ingeniería civil. Uno de nuestros propósitos es comenzar a difundir el uso del GPS a través de una de sus múltiples aplicaciones que en este caso es la creación de planos base y topográficos. Un plano base es aquel que nos da las características generales del sitio en estudio, con una precisión adecuada para un anteproyecto. En nuestro caso, el plano que obtendremos del Parque de San Nicolás aceptaremos un error de 15 metros en las coordenadas X, Y, ya que aunque el aparato pueda ofrecer un error menor, para los propósitos del levantamiento, que son la creación de un plano base y por las características del Ejido como su densidad de árboles, se considera un error aceptable. Así como distancias y áreas de zonas de interés. Este levantamiento se realizará con un GPS autónomo marca eTrex modelo Legend.

Este Parque se encuentra en el kilómetro 11.5 de la carretera del Ajusco, en el Ejido San Nicolás Totolapan II dentro de la delegación Magdalena Contreras colindando con el Cuarto Dinamo y con el Ejido San Nicolás Totolapan I. Este lugar ofrece instalaciones para ecoturismo como bicicleta de montaña, campismo, pesca deportiva, cuentan con actividades

de reforestación así como la preservación de la Flora y Fauna. También cuentan con áreas recreativas.

El Parque San Nicolás únicamente cuenta con una carta 1:50,000 proporcionada por el INEGI en la cual no se pueden distinguir veredas y caminos por lo que no cuentan con las distancias y dirección a las diferentes zonas del Parque. El Parque se encuentra en un crecimiento importante el cual esta brindando más oportunidades de trabajo a la población de este ejido. Debido a esto la delegación de Contreras les da recursos para su crecimiento pero necesitan reportar sobre el desarrollo del Parque. El concepto de Plano Base cumple con las necesidades del Ejido ya que con este les daremos las distancias y áreas con las cuales podrán trazar la ruta más óptima en caso de alguna emergencia. También este plano servirá para un proyecto de urbanismo. Todo esto dará al Ejido un valor agregado a sus servicios.

Otra parte de la tesis se realizó en el Lago de Alchichica, ubicada en el Estado de Puebla, en donde se realizó un levantamiento con un GPS diferencial marca Trimble el cual consta de una base modelo 4700 y un Móvil modelo 4800.

El Lago de Alchichica es un lugar donde el Dr. Marín viene trabajando desde hace tiempo. En este caso, se realizo un levantamiento en tiempo real cinemático para medir el perímetro y el área del lago. Al Dr. Luis Marín le interesa aplicar la técnica con GPS diferencial para obtener la topografía del lago.

Método RTK

Es el método de medición de tiempo real cinemático (por sus siglas en ingles RTK), el cual se realiza para obtener mediciones de niveles de centímetros para trabajos topográficos de "parar y medir" lo cual fue realizado en esta trabajo de tesis. El equipo realiza las correcciones en intervalos de un segundo. Con este tipo de medición y con este equipo utilizado en la tesis podemos realizar también un postproceso cuando se desee o cuando no se tenga recepción de la base al móvil. Este es un método que no todos los equipos de GPS lo tienen

2.-METODOLOGÍA

Para este proyecto se levantaron dos planos base, utilizando dos sistemas de GPS: autónomo y diferencial. El primero fue realizado en el Parque Ejidal San Nicolás Totolapan y el segundo en el Lago de Alchichica.

2.1 Levantamiento del Ejidal San Nicolás Totolapan.

En este sitio realizamos mediciones con un GPS autónomo marca eTrex con la modalidad de WAAS. Se realizaron cinco salidas a campo, donde la primera fue el día 15 de Agosto para reconocer el terreno y analizar los problemas de cobertura, (foto 4) ya que se tiene gran cantidad de árboles muy altos que dificultan la recepción de la señal, y para ver la recepción satelital y el tipo de cobertura que podría tenerse. En esta visita también se analizó la forma de poder estructurar en forma de circuitos la medición para poder tener nuestro plano base de una forma rápida.



Foto 4. Vereda para bicicleta

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En el trayecto del Parque observamos varias desviaciones, donde la mayoría contaba con una pequeña tabla donde indicaban el destino, aunque con el transcurso de nuestros recorridos observamos que no estaban bien señalizadas. Decidimos colocar en casi todas las desviaciones los puntos iniciales y finales de los circuitos que creamos, como se observa en la foto 5.

El fin más importante de dividir el Parque en varios circuitos es que planeamos realizar mediciones por un tiempo determinado y con los datos obtenidos bajarlos a la computadora y procesarlos. Para poder ver la calidad del trabajo obtenido en ese día con una configuración específica de satélites y después repetir la medición en otro día en diferente zona para poder ver la influencia que tiene la geometría diaria de los satélites en las mediciones.



Foto 5. Desviación de veredas

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

En nuestra segunda visita del día 20 de Agosto al lugar, realizamos las mediciones definitivas de los primeros circuitos los cuales fueron del circuito 1 al circuito 8. Estas mediciones se realizaron de las 13:00 a las 15:30 hrs. y se contó con un día seminublado.

Las mediciones que hicimos se realizaron caminando el trayecto y fuimos marcando a cierta distancia que nosotros consideramos buena para dar los rasgos importantes a los caminos con un waypoint, con un tiempo de espera en cada punto de entre 30 a 60 segundos y en el caso de las desviaciones que son los puntos críticos, un tiempo de espera de 60 a 120 segundos. También se decidió colocar unas estacas en el transcurso de los primeros 8 circuitos, Estas estacas fueron numeradas por si había necesidad de regresar al punto de medición.

En el momento de las mediciones uno de nosotros dos tenía el GPS en mano y un cronómetro para que midiese el tiempo y registrara los puntos en el GPS mientras que otro de nosotros en una libreta de tránsito apuntaba las características de cada medición como lo fue los rasgos del paisaje, el tipo de camino, las veredas de bicicletas, explanadas, construcciones, etc. Algo muy importante que no registra el GPS utilizado es el error de la inversión (este error es el cálculo en metros de la posible distancia a la que se encuentra el punto real del punto ubicado con el GPS) que señala a la hora de la medición.

Los datos de cada waypoint se guardaron en el GPS y después se bajaron a la computadora por medio de un cable de transmisión al software llamado Map Source de Garmin. El Map Source permite visualizar los puntos guardados indicándonos la posición del punto y permite calcular algunas distancias.

Estos datos de los puntos fueron pasados a una hoja de cálculo en donde editamos el nombre de la medición, el tiempo de medición, el error obtenido y con esto obtuvimos cierta estadística de estos datos para poder discutirlos mas adelante. Trabajamos con coordenadas UTM las cuáles nos facilitaron el cálculo de la distancia entre puntos por medio de geometría analítica. Esta hoja de cálculo también nos permitió a su vez pasarlos a otros software como el Surfer 7.0 que permite editar el plano, pero lo importante del Surfer es que realiza una interpolación y extrapolación que permite crear planos de curvas de nivel y poder

visualizar el trabajo en tercera dimensión. Otro de los software fue el Auto CAD el cual permitió dar la edición a nuestros planos y calcular algunas áreas y distancias de los circuitos.

La tercera visita se realizó el 28 de Agosto, en donde realizamos el recorrido del circuito 9 al circuito al 14, de las 10:00 a las 13:00. El día fue bueno ya que se encontraba sumamente despejado y la cobertura fue muy buena

En esta tercera visita así como en la cuarta, se realizó el mismo procedimiento que en la segunda visita, únicamente con la diferencia que ya no se colocaron estacas debido a que vimos que ya no era necesario.

La cuarta visita se realizó el 17 de Septiembre, en donde se midió del circuito 15 al 19, de las 11:15 a las 15:30. El día estuvo nublado y con poca cobertura satelital.

La quinta visita se realizó el 19 de Septiembre, en donde se midió del circuito 19 al 23, de las 11:00 a las 13:00. El día estuvo nublado y con poca cobertura satelital.

Para finalizar este trabajo del Parque realizamos por último la transposición de los datos de todos los circuitos para que así tuviésemos el plano base deseado, este paso se realizó con la hoja de cálculo, el Surfer y con el Auto Cad.

El GPS utilizado en la realización de este trabajo, fue el eTrex Legend de marca Garmin, el cual consta de una base de mapas de América del Sur y América del Norte. El eTrex Legend también está diseñado para usar una corrección de datos obtenida del Sistema de Aumento de Área Ancho (WAAS). Esto le permite a este GPS, cuando reciba las correcciones del WAAS una exactitud de posicionamiento de menos de quince metros

2.2. Levantamiento del Lago de Alchichica.

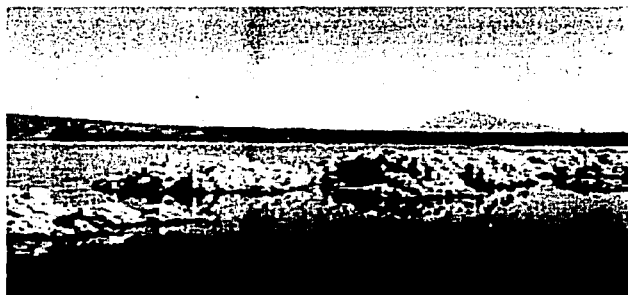


Foto 6. Lago de Alchichica

Se realizó un levantamiento de GPS Diferencial el día 23 de Febrero del 2002, con la finalidad de conocer el perímetro y área del Lago, calculando así el área de dicho Lago. La precisión y exactitud de las coordenadas geográficas obtenidas por éste método fue de 20 centímetros utilizando la técnica de Tiempo Real Cinemático (RTK). Este método de topografía con GPS en tiempo real, que utiliza tiempos de recepción de satélites breves, mantiene un mínimo de cuatro satélites, puede hacerse en tiempo real, o con post-procesamiento.

El equipo con el que se realizó el levantamiento es un GPS Diferencial marca Trimble el cual consta de: Una libreta (modelo TSC1), un móvil (modelo T4800), Base (modelo T4700), tripies, baterías y un software para post-proceso (Trimble Geomatics Office). Desarrollados por la empresa Trimble Navigation Limited.

Se colocó una base en un extremo del Lago con el cual se tomaron datos durante todo el día cuyas coordenadas relativas son 2147191.195N y 668547.725E, y con el móvil se recorrió caminando el contorno del Lago, recolectando un total de 151 datos a los cuales se especificó en la medición que recopilara los datos con una precisión de 20 cm. en la horizontal y de 80 cm. en la vertical, precisión requerida para obtener el área y perímetro del Lago para fines de estudios limnológicos. Posteriormente, los datos del instrumento se

procesaron con el software Trimble Geomatic Office, para poder exportarlo a Surfer y obtener el desnivel, y finalmente editar el plano en Auto CAD, donde obtuvimos el área y perímetro.

Los 151 puntos obtenidos del Lago, son los que fueron necesarios para dar el perímetro mas aproximado al contorno real.

A la vez que los datos de campo se están adquiriendo, el equipo realiza un post-proceso directamente. Posteriormente se realizó un mapa en dos dimensiones (x, y) para ver el área del lago.

3.- Resultados

A continuación se presentan los resultados obtenidos de los levantamientos del Parque San Nicolás Totolapan y del Lago de Alchichica

3.1 Datos obtenidos de la aplicación del GPS autónomo en el Ejido San Nicolás Totolapan

En la tabla 2 se presentan todos los puntos levantados, divididos por circuitos, así como también sus respectivos tiempos de recepción, su error de inversión y sus coordenadas relativas en UTM.

Cada cuadro tiene en su parte superior sombreada el circuito correspondiente. En la parte relativa a la distancia, se calculó ésta con la coordenada de cada punto por medio de la fórmula distancia entre dos puntos (fórmula 2)

$$D = \sqrt{(x1-x2)^2 + (y1-y2)^2}$$

Fórmula 2 Distancia entre dos puntos

También en la parte derecha de esta tabla 1 se tiene el tiempo de recepción (en segundos) promedio, así como también el valor máximo y mínimo de esta. El error de inversión (en metros) muestra los mismos datos que el tiempo de recepción incluyendo la desviación estándar de todos los puntos del circuito correspondiente

En esta misma tabla tenemos la distancia total del circuito, la elevación máxima y mínima y el desnivel del circuito con respecto a si mismo y con respecto a el punto de la entrada (ENT)

TESIS COM
FALLA DE ORIGEN

NOMBRE Waypoint	TIEMPO DE RECEPCION (s)	ERROR DE INVERSION (m)	POSICIÓN (UTM)		
			X	Y	Z

CIRCUITO 1								
ENT						Dist(m)	t (s) repcion	ERROR (m)
1	30	19	474229	2128737	2923	122.97		
	30	7	474110	2128706	2935	66.22	PROMEDIO	33.3
2	30	8	474069	2128654	2953	7.07	VAL MAXIMO	60
D1	30	10	474064	2128649	3056	53.81	VAL MINIMO	30
3	30	9	473985	2128655	3046	103.77	Desviacion Estandar	2.76
4	30	8	473945	2128619	2983	47.71		
5	30	9	473897	2128527	2982	65.80	DISTANCIA TOTAL (m)	546.58
6	30	8	473871	2128487	2977	Total	ELEV MAXIMA (m)	3056
D2	60	7	473826	2128439	2977		ELEV MINIMA (m)	2923
							DESNIVEL / CIRC (m)	133
							DESNIVEL / ENTRADA (m)	133

CIRCUITO 2								
D1						Dist(m)	t (s) repcion	ERROR (m)
D1	30	10	474064	2128649	3056	86.83		
7	38	6	473986	2128703	2946	68.12	PROMEDIO	31.6
D3	37	5	473952	2128755	2936	63.91	VAL MAXIMO	60
8	30	7	473892	2128733	2931	86.83	VAL MINIMO	30
9	30	10	473816	2128691	2940	116.50	Desviacion Estandar	2.55
10	30	13	473792	2128577	2950	61.81		
11	30	6	473782	2128516	2960	29.27	DISTANCIA TOTAL (m)	581.16
D4	35	8	473778	2128487	2965	67.88	ELEV MAXIMA (m)	3056
D2	60	7	473826	2128439	2977		ELEV MINIMA (m)	2931
							DESNIVEL / CIRC (m)	133
							DESNIVEL / ENTRADA (m)	133

CIRCUITO 3								
D4						Dist(m)	t (s) repcion	ERROR (m)
D4	35	8	473778	2128487	2965	62.07		
12	30	7	473781	2128425	2973	64.41	PROMEDIO	32.1
13	30	9	473724	2128395	2969	168.40	VAL MAXIMO	17
D5	37	19	473562	2128348	2993	58.25	VAL MINIMO	30
14	30	9	473526	2128292	2993	37.22	Desviacion Estandar	3.63
15	30	11	473493	2128244	2961	104.04		
16	30	8	473461	2128225	2954	133.73	DISTANCIA TOTAL (m)	695.55
17	30	9	473357	2128228	2959		ELEV MAXIMA (m)	2973
VP	37	8	473324	2128242	2959		ELEV MINIMA (m)	2954
							DESNIVEL / CIRC (m)	19
							DESNIVEL / ENTRADA (m)	50

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CIRCULO 6										
VP	3/	R				Dist(m)		f (s) recepion	ERROR (m)	
D6	44	9	473124	2128242	2958	137.13		PROMEDIO	36.8	14.2
18	39	27	473118	2128384	2948	35.00		VAL MAXIMO	44	27
19	30	17	473096	2128390	2955	34.06		VAL MINIMO	30	8
D7	34	10	473040	2128409	2952	59.14		Desviacion Estandar		7.98
						Total	265.33			
							DISTANCIA TOTAL (m)	265.33		
							ELEV MAXIMA (m)	2958		
							ELEV MINIMA (m)	2948		
							DESNIVEL / CIRC (m)	11		
							DESNIVEL / ENTRADA (m)	36		

CIRCULO 4											
D7	34	10				Dist(m)		f (s) recepion	ERROR (m)		
20	30	11	473090	2128449	2952	64.03		PROMEDIO	31.0	10.8	
21	30	11	473153	2128456	2958	63.39		VAL MAXIMO	34	11	
D8	30	11	473184	2128519	2963	70.21		VAL MINIMO	30	10	
						Total	197.63			Desviacion Estandar	0.50
							DISTANCIA TOTAL (m)	197.63			
							ELEV MAXIMA (m)	2963			
							ELEV MINIMA (m)	2952			
							DESNIVEL / CIRC (m)	11			
							DESNIVEL / ENTRADA (m)	40			

CIRCULO 5												
D8	30	11				Dist(m)		f (s) recepion	ERROR (m)			
22	30	12	473149	2128618	2963	103.12		PROMEDIO	30.0	13.3		
D9	30	17	473142	2128681	2973	65.38		VAL MAXIMO	30	17		
						Total	168.50			VAL MINIMO	30	11
							DISTANCIA TOTAL (m)	168.50			Desviacion Estandar	3.21
							ELEV MAXIMA (m)	2973				
							ELEV MINIMA (m)	2963				
							DESNIVEL / CIRC (m)	10				
							DESNIVEL / ENTRADA (m)	50				

CIRCULO 7										
D9	30	17				Dist(m)		f (s) recepion	ERROR (m)	
23	30	9	473196	2128667	2977	55.79		PROMEDIO	34.0	12.6
24	30	10	473282	2128618	2943	89.98		VAL MAXIMO	40	17
25	40	17	473331	2128620	2969	49.16		VAL MINIMO	30	9
D10	40	10	473423	2128561	2969	109.29		Desviacion Estandar		4.64
						Total	314.23			
							DISTANCIA TOTAL (m)	314.23		
							ELEV MAXIMA (m)	2977		
							ELEV MINIMA (m)	2943		
							DESNIVEL / CIRC (m)	34		
							DESNIVEL / ENTRADA (m)	54		

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CIRCUITO 8									
D10	40	10	473423	2128561	2969	Dist(m)	t (s) recepccion	ERROR (m)	
26	30	10	473500	2128507	2938	94.05			
27	30	11	473558	2128478	2935	64.40	PROMEDIO	33.3	9.8
28	40	9	473645	2128533	2961	102.40	VAL MAXIMO	50	11
29	30	8	473650	2128559	2959	26.48	VAL MINIMO	30	8
30	30	9	473672	2128676	2937	119.05	Desviacion Estandar		0.87
31	30	11	473689	2128755	2937	80.81			
32	30	9	473691	2128768	2939	13.15	DISTANCIA TOTAL (m)		844.88
33	30	10	473692	2128703	2960	144.45	ELEV MAXIMA (m)		2969
34	40	10	473546	2128696	2938	17.46	ELEV MINIMA (m)		2935
35	30	10	473478	2128621	2963	101.24	DESNIVEL / CIRC (m)		34
D10	40	10	473473	2128561	2969	81.39	DESNIVEL / ENTRADA (m)		46
						Total	844.88		

CIRCUITO 9									
D2	30	5	473809	2128418	2978	Dist(m)	t (s) recepccion	ERROR (m)	
36	30	5	473788	2128381	2961	42.54	PROMEDIO	30	7.08
37	30	10	473760	2128349	2967	42.52	VAL MAXIMO	30	17
38	30	5	473752	2128300	2965	49.65	VAL MINIMO	30	5
39	30	7	473681	2128224	2977	104.00	Desviacion Estandar		3.28
40	30	7	473637	2128178	2978	63.66			
41	30	17	473608	2128120	2986	64.85	DISTANCIA TOTAL (m)		678.60
42	30	6	473608	2128070	2995	50.00	ELEV MAXIMA (m)		3022
43	30	5	473627	2128056	2995	24.21	ELEV MINIMA (m)		2966
44	30	7	473605	2128022	3005	39.66	DESNIVEL / CIRC (m)		61
45	50	6	473570	2127990	3004	47.42	DESNIVEL / ENTRADA (m)		89
46	30	6	473639	2127903	3021	111.04			
D11	30	6	473630	2127865	3022	39.05			
						Total	678.60		

CIRCUITO 10									
D11	30	6	473630	2127865	3022	Dist(m)	t (s) recepccion	ERROR (m)	
47	30	6	473598	2127837	3019	42.52	PROMEDIO	48.75	8.75
48	30	10	473573	2127842	3023	25.50	VAL MAXIMO	180	15
49	30	8	473544	2127878	3027	46.23	VAL MINIMO	30	6
50	30	9	473469	2127875	3024	75.06	Desviacion Estandar		3.06
51	30	6	473307	2127833	3038	167.36			
52	30	15	473280	2127792	2993	49.09	DISTANCIA TOTAL (m)		519.77
D12	180	10	473210	2127702	3037	114.02	ELEV MAXIMA (m)		3038
						Total	519.77		2993
									45
									115

CIRCUITO 11									
D12	30	10	473210	2127702	3037	Dist(m)	t (s) recepccion	ERROR (m)	
53	30	7	473143	2127635	3028	94.75	PROMEDIO	30	8.33
54	30	12	473104	2127662	3021	47.43	VAL MAXIMO	30	12
55	30	6	473107	2127686	3029	24.19	VAL MINIMO	30	6
56	30	8	473148	2127757	3033	81.99	Desviacion Estandar		2.00
57	30	8	473194	2127814	3041	73.25			
58	30	10	473200	2127882	3034	68.26	DISTANCIA TOTAL (m)		523.40
59	30	8	473218	2127944	3031	64.56	ELEV MAXIMA (m)		3041
60	30	6	473284	2127964	3036	68.96	ELEV MINIMA (m)		3021
						Total	523.40		20
									118

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CIRCUITO 12									
D12	30	10	473210	2127702	3037	Dist(m)	1 (s) recepccion	ERROR (m)	
61	30	10	473237	2127628	3045				78.77
62	30	5	473200	2127578	3052	62.20	PROMEDIO	33.3	
63	30	5	473184	2127547	3066	34.89	VAL MAXIMO	60	
64	30	18	473171	2127485	3069	63.35	VAL MINIMO	30	
65	30	5	473110	2127444	3068	73.50	Desviacion Estandar	4.31	
66	30	5	473080	2127437	3090	30.81			
67	30	5	473059	2127428	3081	31.32	DISTANCIA TOTAL (m)	473.84	
D13	60	7	472981	2127357	3078	99.01	ELEV MAXIMA (m)	3090	
						Total	473.84	ELEV MINIMA (m)	3037
								DES NIVEL / CIRC (m)	5.3
								DES NIVEL / ENTRADA (m)	16.7

CIRCUITO 13									
D13	60	7	472981	2127357	3078	Dist(m)	1 (s) recepccion	ERROR (m)	
D14	60	12	472954	2127318	3091				47.43
68	30	9	472971	2127261	3084	58.48	VAL MAXIMO	60	
69	30	6	472978	2127209	3093	52.47	VAL MINIMO	30	
70	30	7	472964	2127131	3113	79.25	Desviacion Estandar	2.45	
71	30	6	472934	2127064	3121	73.41			
72	30	9	472918	2127030	3127	35.78	DISTANCIA TOTAL (m)	472.36	
73	30	11	472881	2127006	3127	45.22	ELEV MAXIMA (m)	3137	
74	30	5	472837	2126940	3137	78.32	ELEV MINIMA (m)	3078	
						Total	472.36	DES NIVEL / CIRC (m)	5.8
								DES NIVEL / ENTRADA (m)	21.4

CIRCUITO 14									
D11	30	6	473630	2127865	3022	Dist(m)	1 (s) recepccion	ERROR (m)	
75	30	9	473616	2127822	3032				45.22
76	30	14	473581	2127793	3019	45.45	VAL MAXIMO	30	
77	30	13	473537	2127728	3022	78.49	VAL MINIMO	14	
78	30	7	473530	2127661	3009	67.36	Desviacion Estandar	2.58	
79	30	8	473512	2127585	3011	78.10			
80	30	9	473476	2127511	3036	82.29	DISTANCIA TOTAL (m)	614.80	
81	30	8	473430	2127466	2975	64.35	ELEV MAXIMA (m)	3091	
82	30	7	473381	2127438	3020	56.44	ELEV MINIMA (m)	2975	
83	30	9	473340	2127350	3091	97.08	DES NIVEL / CIRC (m)	11.6	
						Total	614.80	DES NIVEL / ENTRADA (m)	16.8

CIRCUITO 15									
D7	30	28	473009	2128405	2940	Dist(m)	1 (s) recepccion	ERROR (m)	
84	30	28	472964	2128417	2940				46.57
85	30	28	472952	2128386	2940	33.24	VAL MAXIMO	30	
86	30	29	472905	2128360	2940	53.71	VAL MINIMO	30	
87	30	29	472874	2128307	SS R	96.80	Desviacion Estandar	10.57	
88	30	8	472808	2128321	2921	21.26			
89	30	8	472747	2128301	2921	64.20	DISTANCIA TOTAL (m)	373.16	
Truchas	30	8	472694	2128279	3045	57.38	ELEV MAXIMA (m)	3045	
						Total	373.16	ELEV MINIMA (m)	2921
								DES NIVEL / CIRC (m)	1.24
								DES NIVEL / ENTRADA (m)	10.5

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CIRCUITO 14										
DB										
90	30	11	473184	2128519	2983		Dist(m)			
91	60	20	472980	2128512	2986		194.13	t (s)	recepccion	
92	20	9	472935	2128473	2986		67.42	PROMEDIO	36.00	
93	20	10	472912	2128468	2987		73.54	VAL MAXIMO	60	
94	20	10	472880	2128442	2993		34.71	VAL MINIMO	20	
95	30	10	472877	2128435	2993		13.89	Desviacion Estandar		
96	30	16	472899	2128356	2993		194.74			
97	60	24	472657	2128374	2993		45.69	DISTANCIA TOTAL (m)	672.14	
D15	60	10	472580	2128317	3060		33.60	ELEV MAXIMA (m)	3060	
							Total	672.14	ELEV MINIMA (m)	2983
								DESNIVEL / CIRC (m)	97	
								DESNIVEL / ENTRADA (m)	137	

CIRCUITO 17									
D15									
98	60	11	472580	2128317	3060		Dist(m)		
99	20	11	472593	2128355	3061		40.16	t (s)	recepccion
100	20	11	472600	2128392	3061		37.66	PROMEDIO	28
101	20	11	472607	2128428			36.67	VAL MAXIMO	60
102	20	11	472483	2128472	3063		131.58	VAL MINIMO	20
103	20	11	472481	2128475	3063		22.20	Desviacion Estandar	
104	20	11	472330	2128480	3063		131.10		
105	20	11	472281	2128537	3063		75.17	DISTANCIA TOTAL (m)	1073.33
106	20	11	472306	2128558	3063		32.65	ELEV MAXIMA (m)	3063
107	20	11	472337	2128616	3063		65.76	ELEV MINIMA (m)	3056
108	20	11	472358	2128637			29.70	DESNIVEL / CIRC (m)	7
109	20	11	472524	2128743	3063		196.96	DESNIVEL / ENTRADA (m)	140
110	20	14	472587	2128865	3063		109.86		
D16	60	14	472688	2128795	3056		70.01		
							Total	1073.33	

CIRCUITO 18									
D16									
D16	20	10	472688	2128795	3056		Dist(m)		
D17	20	12	472855	2128737	3056		176.79	Nota: Circuito calculado en gabinete	
							Total	176.79	

CIRCUITO 19									
D17									
D17	20	12	472855	2128737	3056		Dist(m)		
D19	30	17	473142	2128681	2973		292.41	Nota: Circuito calculado en gabinete	
							Total	292.41	

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CIRCUITO 20									
						Dist(m)		f (s) recepccion	ERROR (m)
111	30	9	473680	2128451	2913				
112	30	10	473697	2128502	2927	43.78		PROMEDIO	38.6
113	30	17	473712	2128527	2929	29.15		VAL MAXIMO	60
114	30	10	473723	2128557	2925	31.95		VAL MINIMO	30
115	30	7	473736	2128603	2932	47.80		Desviacion Estandar	3.15
D18	60	10	473764	2128625	2931	35.61			
9	60	12	473817	2128658	2924	62.43		DISTANCIA TOTAL (m)	260.71
						Total	760.71	ELEV MAXIMA (m)	2932
								ELEV MINIMA (m)	2913
								DESNIVEL / CIRC (m)	19
								DESNIVEL / ENTRADA (m)	9

CIRCUITO 21									
						Dist(m)		f (s) recepccion	ERROR (m)
D18	60	10	473764	2128625	2931				
117	30	11	473737	2128656	2936	41.11		PROMEDIO	34.3
118	30	8	473728	2128687	2936	32.28		VAL MAXIMO	60
119	30	15	473727	2128725	2935	38.01		VAL MINIMO	30
120	30	9	473729	2128750	2935	34.06		Desviacion Estandar	2.23
121	30	10	473740	2128796	2934	38.60			
Lumite	30	10	473799	2128836	2933	71.28		DISTANCIA TOTAL (m)	255.34
						Total	755.34	ELEV MAXIMA (m)	2936
								ELEV MINIMA (m)	2931
								DESNIVEL / CIRC (m)	5
								DESNIVEL / ENTRADA (m)	13

CIRCUITO 22									
						Dist(m)		f (s) recepccion	ERROR (m)
D2	60	7	473826	2128439	2977				
122	30	10	473783	2128394	2967	62.24		PROMEDIO	32.7
123	30	6	473757	2128369	2966	38.07		VAL MAXIMO	60
124	30	14	473717	2128349	2966	49.24		VAL MINIMO	30
125	30	8	473671	2128329	2968	45.62		Desviacion Estandar	2.49
126	30	8	473634	2128293	2971	51.62			
127	30	11	473614	2128270	2971	30.48			
128	30	7	473595	2128254	2971	24.84		DISTANCIA TOTAL (m)	410.38
129	30	11	473575	2128223	2972	36.89		ELEV MAXIMA (m)	2977
130	30	12	473608	2128199	2972	40.80		ELEV MINIMA (m)	2966
131	30	8	473639	2128189	2981	32.57		DESNIVEL / CIRC (m)	11
						Total	410.38	DESNIVEL / ENTRADA (m)	54

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CIRCUITO DE SALIDA						
D2	60	7	473826	2128439	2977	Dist(m)
132	30	8	473811	2128377	2970	63.79
133	30	6	473815	2128332	2959	45.18
134	30	10	473829	2128374	2953	44.27
135	30	9	473839	2128432	2948	58.86
136	30	6	473894	2128456	2944	60.01
137	30	9	473937	2128453	2945	43.10
138	30	9	473955	2128435	2943	25.46
139	30	7	474001	2128433	2929	46.04
140	30	11	474035	2128424	2919	35.17
141	30	12	474067	2128440	2916	35.78
142	30	12	474087	2128452	2914	32.31
143	30	12	474128	2128473	2915	37.44
144	30	11	474157	2128495	2912	36.40
145	30	15	474215	2128526	2930	65.76
146	30	38	474258	2128559	2933	54.20
148	30	25	474305	2128609	2925	68.62
Total						752.40

PROMI (DIO)	37.8	11.82
VAL MAXIMO	65	38
VAL MINIMO	25	6
Desviacion Estandar		8.21

DISTANCIA TOTAL (m)	752.40
ELEV MAXIMA (m)	2977
ELEV MINIMA (m)	2912
DESNIVEL / CIRC (m)	65
DESNIVEL / ENTRADA (m)	54

Tabla 2. Resultados del Ejido de San Nicolás

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.2 Datos obtenidos de la aplicación del GPS diferencial en el Lago de Alchichica

En la tabla 3 se presentan las coordenadas relativas en UTM de los 151 puntos levantados con el GPS diferencial en el Lago de Alchichica.

ESTACION	X (metros)	Y (metros)	ALTURA ELIPSOIDAL (m.)
BASE	668547.725	2147191.2	2325.621
1	668565.223	2147203.15	2325.629
2	668570.292	2147207.13	2325.721
3	668570.966	2147214.32	2325.727
4	668570.185	2147225.84	2325.724
5	668564.791	2147242.59	2325.612
6	668564.469	2147260.28	2325.599
7	668559.383	2147276.44	2325.627
8	668547.486	2147293.98	2325.659
9	668528.031	2147308.32	2325.578
10	668515.344	2147315.86	2325.645
11	668515.153	2147300.94	2325.656
12	668516.822	2147295.02	2325.689
13	668521.203	2147292.38	2325.724
14	668520.616	2147286.47	2325.717
15	668519.357	2147281.98	2325.618
16	668509.242	2147277.91	2326.039
17	668494.659	2147284.41	2325.746
18	668516.841	2147325.19	2325.623
19	668529.366	2147338.87	2325.615
20	668523.148	2147357.22	2325.602
21	668508.109	2147387.8	2325.58
22	668496.028	2147414.97	2325.716
23	668484.776	2147445.35	2325.689
24	668472.462	2147455.24	2325.626
25	668454.414	2147468.41	2325.59
26	668463.738	2147477.82	2325.596
27	668467.197	2147498.5	2325.615
28	668468.226	2147605.57	2325.71
29	668468.231	2147610.57	2325.595
30	668461.707	2147618.05	2325.656
31	668461.402	2147622.99	2325.617
32	668461.783	2147632.44	2325.612
33	668455.961	2147640.3	2325.603
34	668437.554	2147644.5	2325.585
35	668444.995	2147681.61	2325.626
36	668436.668	2147714.2	2325.622
37	668449.891	2147716.53	2325.607
38	668431.422	2147756.16	2325.614
39	668427.554	2147781.46	2325.612
40	668412.091	2147817.43	2325.628
41	668388.976	2147843.62	2325.615

ESTACION	X (metros)	Y (metros)	ALTURA ELIPSOIDAL (m.)
42	668343.74	2147879.08	2325.595
43	668319.036	2147912.98	2325.6
44	668305.28	2147926.05	2325.61
45	668305.301	2147926.03	2325.604
46	668256.391	2147955.03	2325.609
47	668247.152	2147968.95	2325.72
48	668231.489	2147977.26	2325.606
49	668201.2	2148003.55	2325.669
50	668178.017	2148013.11	2325.641
51	668149.061	2148031.18	2325.585
52	668133.554	2148037.18	2325.608
53	668106.192	2148040.78	2325.598
54	668088.958	2148043.77	2325.612
55	668070.35	2148060.22	2325.617
56	668041.537	2148072.48	2325.584
57	668018.935	2148089.77	2325.615
58	667996.245	2148095.85	2325.605
59	667963.89	2148105.23	2325.58
60	667947.345	2148110.33	2325.592
61	667913.033	2148118.19	2325.621
62	667854.242	2148127.97	2325.598
63	667824.841	2148128.62	2325.593
64	667787.325	2148128.37	2325.588
65	667770.813	2148143.92	2325.593
66	667749.359	2148149.47	2325.617
67	667701.739	2148152.61	2325.619
68	667677.523	2148162.05	2325.578
69	667638.643	2148172.84	2325.602
70	667583.149	2148182.39	2325.604
71	667537.549	2148167.61	2325.599
72	667520.307	2148182.55	2325.587
73	667471.162	2148180.64	2325.592
74	667397.992	2148166.1	2325.613
75	667373.944	2148169.5	2325.677
76	667314.218	2148160.12	2325.603
77	667286.056	2148159.56	2325.656
78	667190.92	2148153.35	2325.694
79	667190.903	2148153.35	2325.688
80	667167.203	2148132.03	2326.1
81	667086.861	2148110.8	2325.703
82	667049.274	2148100.09	2325.658
83	667020.19	2148089.2	2325.751
84	666936.138	2148065.25	2325.724
85	666870.708	2147999.84	2325.681
86	666839.693	2147983.53	2325.715

ESTACION	X (metros)	Y (metros)	ALTURA ELIPSOIDAL (m)
87	666806 911	2147924 07	2325 879
88	666793 844	2147857 12	2325 603
89	666780 207	2147832 4	2325 808
90	666777 058	2147723 27	2325 654
91	666799 113	2147687 88	2325 743
92	666812 187	2147610 27	2326 068
93	666824 829	2147539 95	2325 619
94	666830 147	2147439 76	2325 648
95	666859 534	2147399 61	2325 564
96	666860 352	2147336 98	2325 647
97	666853 783	2147289 75	2325 665
98	666882 342	2147211 9	2325 682
99	666921 099	2147124 36	2325 841
100	666953 601	2147022 04	2325 671
101	666977 166	2146952 15	2325 674
102	667024 093	2146857 16	2325 842
103	667129 817	2146786 69	2325 191
104	667199 356	2146758 28	2325 883
105	667234 648	2146750 04	2325 94
106	667322 232	2146685 84	2325 937
107	667391 651	2146654	2325 815
108	667422 667	2146658 56	2326 593
109	667510 866	2146596 16	2325 716
110	667551 679	2146599 48	2326 784
111	667594 5	2146566 31	2325 743
112	667670 137	2146554 74	2325 644
113	667690 083	2146561 83	2326 206
114	667705 392	2146543 01	2325 999
115	667734 808	2146546 69	2325 772
116	667758 473	2146537 19	2325 715
117	667822 478	2146572 83	2325 651
118	667837 469	2146591 41	2326 986
119	667908 35	2146563 98	2325 753
120	668034 075	2146611 37	2325 838
121	668050 49	2146643 35	2325 63
122	668038 279	2146648 71	2326 604
123	668054 033	2146658 52	2326 848
124	668075 667	2146643 79	2325 857
125	668141 723	2146642 09	2326 007
116	667758 473	2146537 19	2325 715
117	667822 478	2146572 83	2325 651
118	667837 469	2146591 41	2326 986
119	667908 35	2146563 98	2325 753
120	668034 075	2146611 37	2325 838
121	668050 49	2146643 35	2325 63
122	668038 279	2146648 71	2326 604
123	668054 033	2146658 52	2326 848
124	668075 667	2146643 79	2325 857
125	668141 723	2146642 09	2326 007
126	668213 522	2146677 25	2325 816
127	668274 828	2146783 49	2325 638
128	668264 335	2146810 21	2325 72
129	668282 341	2146865 57	2325 806

ESTACION	X (metros)	Y (metros)	ALTURA ELIPSOIDAL (m)
130	668317 796	2146897 19	2325 649
131	668329 025	2146935 7	2325 603
132	668392 402	2146946 54	2325 781
133	668432 88	2146977 57	2325 621
134	668479 011	2146992 32	2325 631
135	668523 203	2147049 83	2325 664
136	668559 863	2147122 05	2325 675
137	668570 643	2147192 22	2325 651
138	668553 137	2147190 9	2326 128
139	668549 449	2147182 01	2325 691
140	668550 195	2147194 61	2326 162
141	668549 937	2147195 77	2326 203
142	668572 85	2147197 42	2326 526
143	668584 059	2147166 13	2327 185
144	668572 196	2147122 76	2327 055
145	668559 319	2147090 65	2326 709
146	668544 193	2147056 01	2326 453
147	668515 861	2147027 48	2326 445
148	668499 71	2146997 28	2326 38
149	668462 88	2146965 82	2326 352
150	668426 065	2146948 03	2326 245
151	668389 778	2146930 37	2326 368

Tabla 3. Resultados del Lago de Alchichica

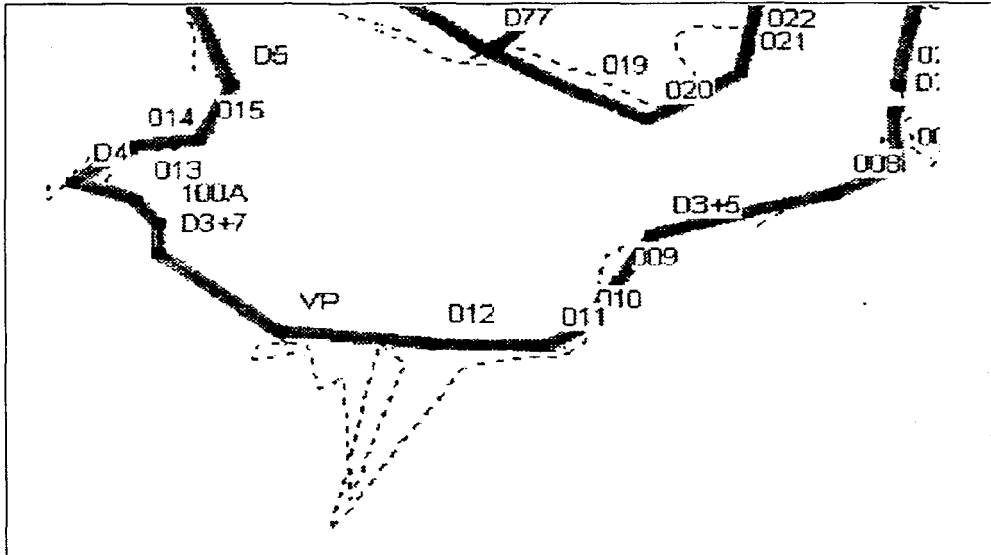
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

4.- Discusión

4.1 Discusión del Ejido San Nicolás Totolapan.

Para realizar el levantamiento del plano base con el GPS Autónomo contamos con dos opciones que son: El Waypoint y el Track.

Al realizar las mediciones con el modo de Track y ver los resultados se observa que este método no cumple los propósitos de tener un error menor de 15 metros y dar los rasgos mas aproximados del parque, como se puede observar en la figura 18



Entre el punto 11 y el punto VP se observa que la trayectoria del track no es la real (línea punteada), ya que la línea sombreada que une a los puntos 11, 12 y VP, describe en realidad el trazo del camino.

Figura 19. Levantamiento con track y waypoint

Este método nos hubiese disminuido el tiempo de medición considerablemente ya que no había que parar en cada punto, sino que habríamos caminado únicamente sobre la vereda, inclusive se tenía la opción de colocar el GPS Autónomo sobre algún vehículo y realizarlo más rápidamente.

La medición con el Track es bastante útil en zonas donde no se cuenta con este tipo de obstrucciones, como ejemplo se realizó un recorrido en el automóvil de la entrada del Parque hasta el cruce de Canal de Miramontes y Brujas. figura 19

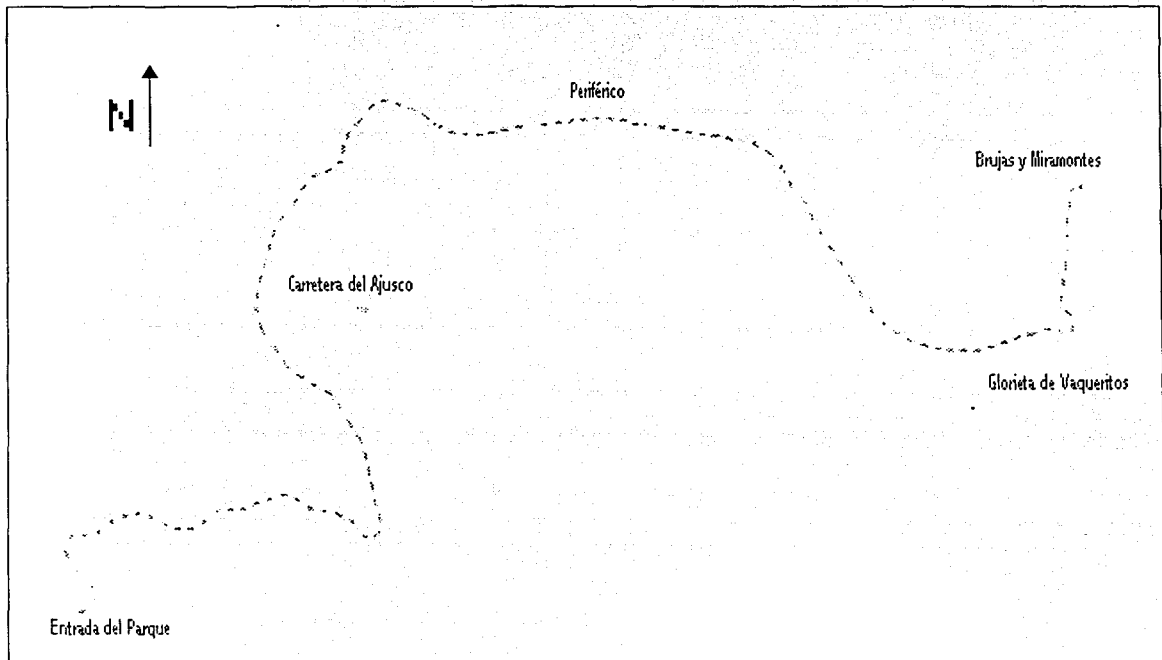


Figura 20. Levantamiento con track

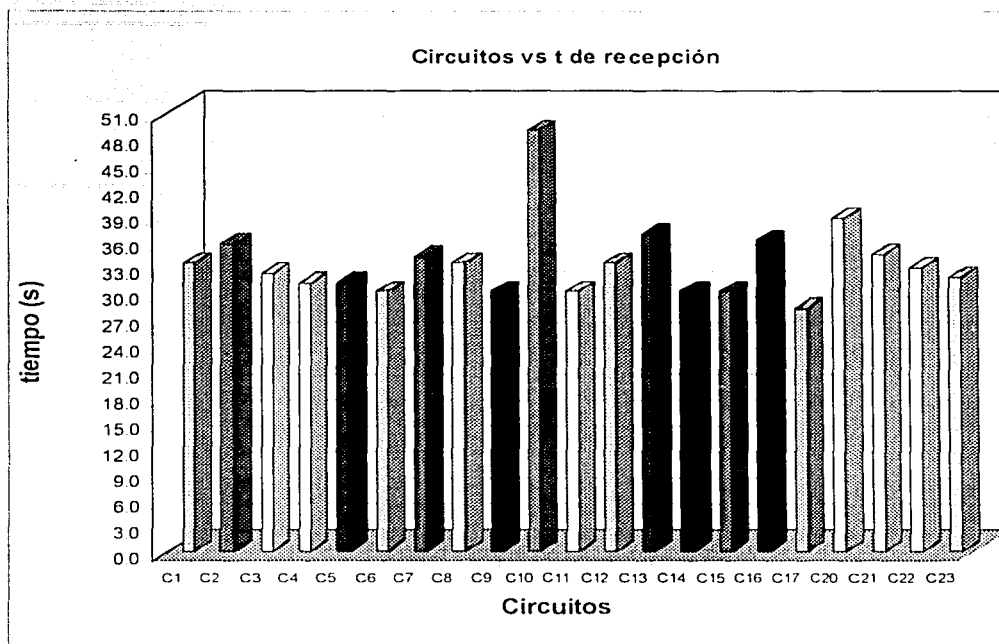
En este recorrido se comparó la distancia total de la medición del GPS Autónomo con el odómetro del vehículo donde el auto marcó 19 Km. y el GPS 18.5 km.

Debido a estos resultados se decidió realizar el levantamiento únicamente con la modalidad de Waypoint y con la recepción del WAAS

Una vez definido el método se estableció un tiempo estándar de recepción de 30 segundos en cada punto (Waypoint) y en las desviaciones determinamos un tiempo de recepción de 60 segundos para tener más datos, pues es un punto de control. Después de hacer las mediciones nos dimos cuenta que para este levantamiento el tiempo de recepción no fue un factor importante ya que este era muy pequeño, pues para tener una mayor precisión hubiésemos tenido que permanecer más tiempo en cada punto, pero esto nos hubiese retardado más y no cumplir con uno de los propósitos de este proyecto que es la de realizar un plano base en un corto tiempo que a su vez implica una reducción en el costo.

Cuantitativamente el error arrojado en el tiempo de 30 y 60 segundos estaba dentro del parámetro establecido pues al realizar una medición con mayor tiempo no garantiza que se disminuya el error sino que se aumente la probabilidad de tener un mayor número de satélites y/o que su geometría se mejore.

En la tabla 2 (resultados) se presentan en algunos puntos, tiempos de recepción superiores al estándar, ya que la recepción era muy deficiente. A continuación se presenta la gráfica 1 donde se muestran los tiempos de recepción promedio por cada circuito.



Gráfica 1. Circuitos vs. Tiempo de recepción

También se muestran en la tabla 2 los errores por cada punto, expresados en metros, esta información no la guarda en memoria el GPS, sino que se muestra en la pantalla del mismo al momento de realizar la medición.

Como se podrá observar en la gráfica anterior y en las siguientes no se presenta el circuito 18 y 19, ya que el día que se realizó esta medición el GPS autónomo no contó con una cobertura de satélites adecuada, la geometría era deficiente pues el PDOP era de 6 y la densidad de árboles alrededor de los circuitos era considerablemente espesa (ver foto 7). Debido a lo anterior, los cálculos de los circuitos se realizaron en gabinete, extrapolando los puntos iniciales y finales de los circuitos, ya que los puntos intermedios no presentaban datos del GPS.

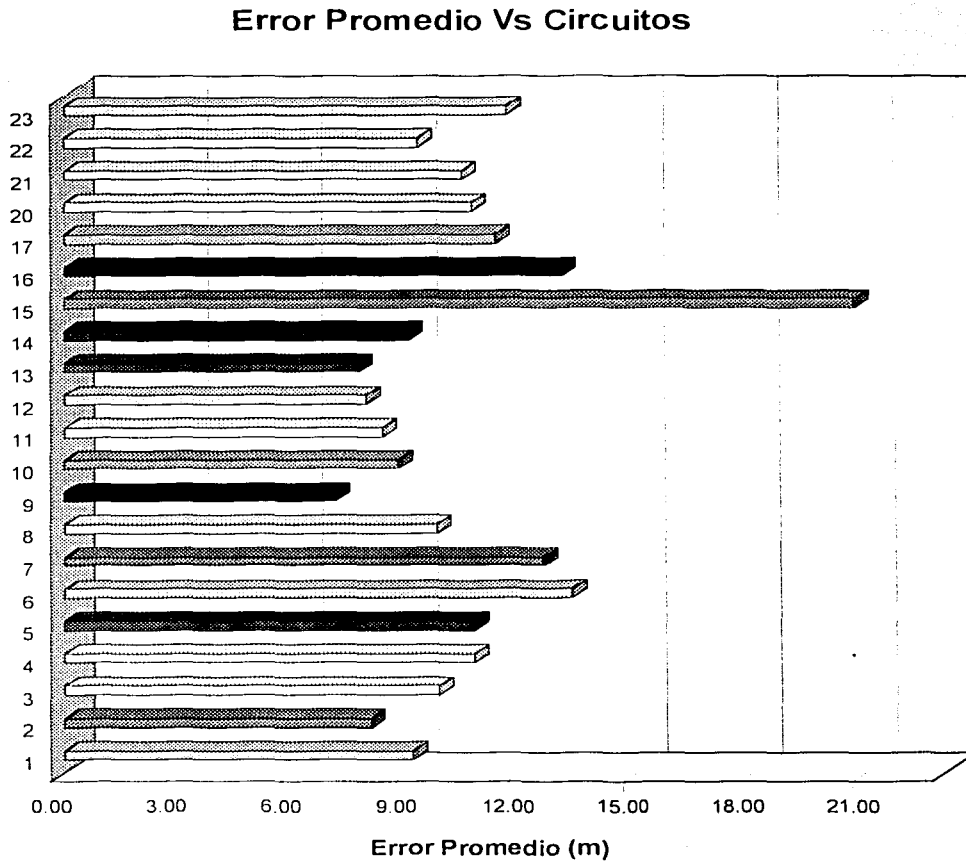


Se observa en esta foto la gran densidad de árboles, la cual no permite la recepción de satélites. Así como esta zona, existen una gran cantidad en el Parque.

Foto 7. Vereda de bicicleta con mucha densidad de árboles

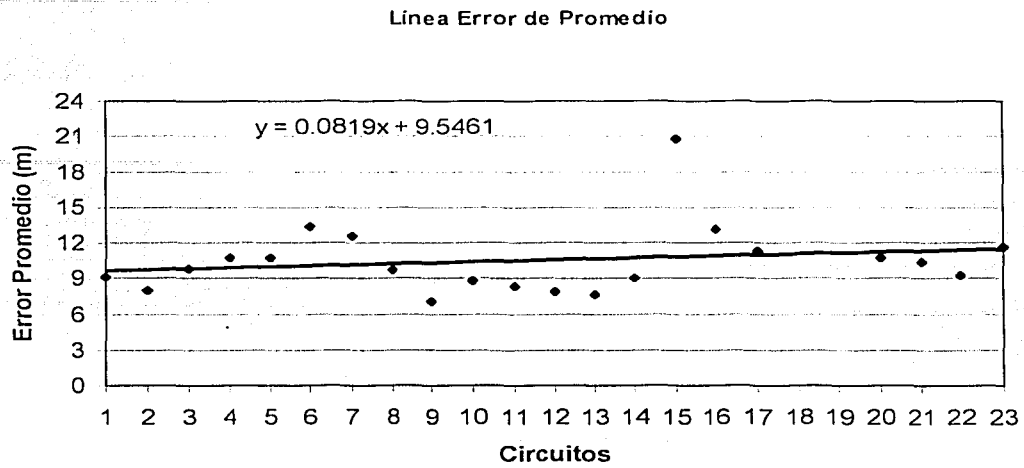
En la gráfica 2 y 3 se muestran los errores promedio (de inversión) por circuito, y como se puede observar estos cumplen con el estándar propuesto de no rebasar los 15 metros de error, excepto el circuito 15 el cual presenta un error superior al promedio, esto debido a varios factores; uno de ellos es que dicho circuito corre prácticamente paralelo al río, lo cual significa que se encuentra dentro de las zonas mas bajas del Parque, lo que implica que a los lados de este circuito existan dos cerros los cuales provocan una reducción en el ángulo de recepción de señal de satélites como se puede ver en la fotografía 8. El siguiente factor es que por la misma cercanía al río, la zona se encuentra considerablemente arbolada, impidiendo también el paso de la señal. Otro motivo fue la mala geometría de los satélites, lo cual como comentamos anteriormente en la teoría esto genera un PDOP alto, que en este caso fue de 4.7.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Gráfica 2. Error promedio vs. Circuitos

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Gráfica 3. Línea de error promedio

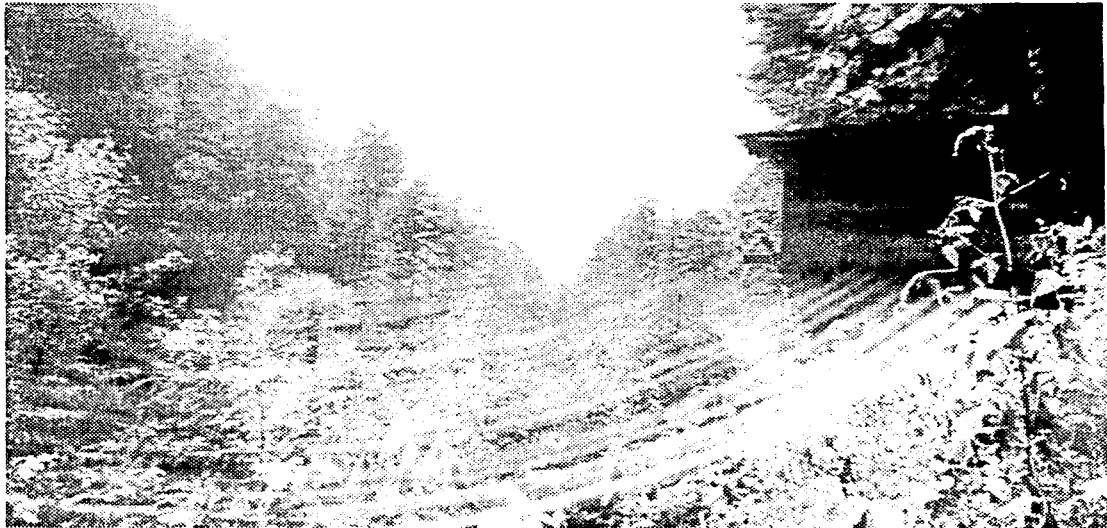
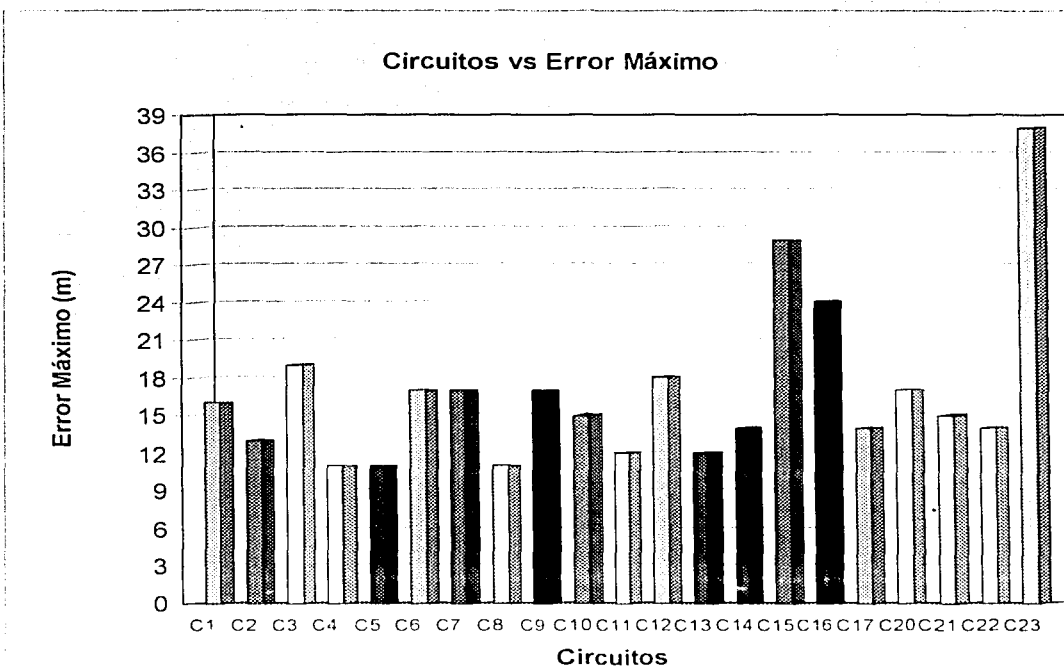


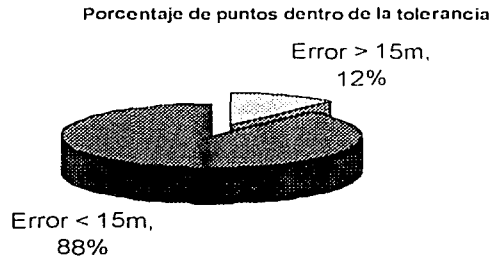
Foto 8. Parte más baja del Ejido

El error máximo que se obtuvo de todos los puntos está alojado en el circuito 23 el cual tuvo un error de 39 metros en X, Y debido a que se encontraba dentro de una ladera, la cual a su vez tiene una gran densidad de árboles, su PDOP en este punto fue de 7 y sólo se tenían 3 satélites visibles. (gráfica 4)



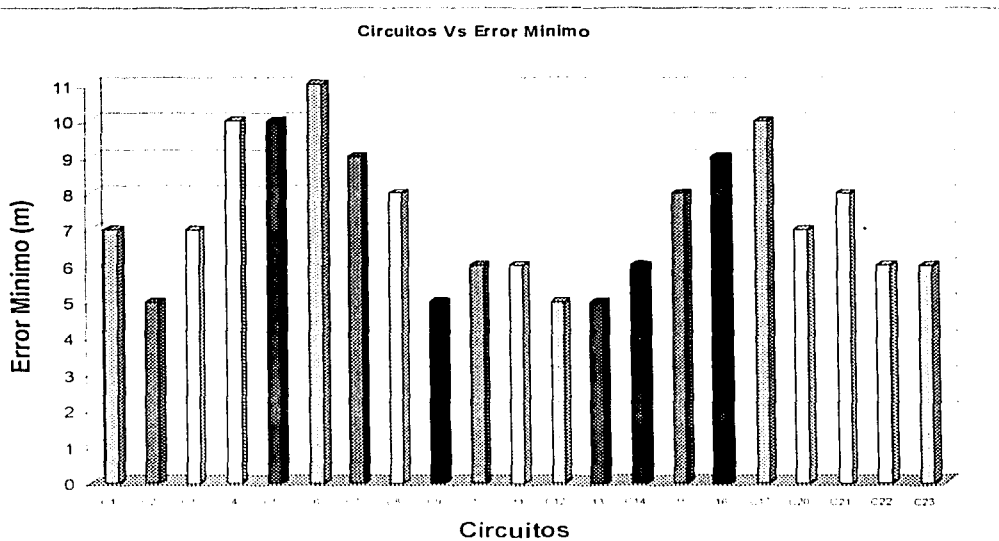
Gráfica 4. Circuitos vs. Error máximo

Se tienen 20 puntos que se pasaron del límite que implica el 11.7% del total que fue de 171 puntos, por lo que el 88.3 % estuvo dentro de nuestro límite. Es un porcentaje aceptable tomando en cuenta que nos encontramos en una zona de gran dificultad para la medición con GPS. (gráfica 5)



Gráfica 5. Porcentajes de puntos dentro de la tolerancia

En la Gráfica 6 observamos los puntos que tuvieron el menor error en cada circuito y podemos observar que se llegó a tener un error de 5 metros que es el rango mínimo que puede arrojar el GPS autónomo con recepción de WAAS.



Gráfica 6. Circuitos vs. Error mínimo



Podemos apreciar la zona más despejada del parque, la cual tenía poca densidad de árboles, por lo cual el error disminuyó considerablemente.

Foto 9. Zona más despejada del Ejido

La tabla 2 presenta la posición de cada uno de los puntos levantados los cuales se encuentran en coordenadas UTM. En base a estas coordenadas se generó el plano base del Ejido dividido en cuatro planos que son PBT1, PBT2, PBT3 y PBT4 que se muestran en el anexo.

En los cuatro planos se señalan las áreas diversas del Parque como lo son el Venadario, el Vivero, los ríos, las truchas, etc... En cada circuito se marca la distancia del mismo. Se tiene también dos ejes en base a las coordenadas UTM, así como los nombres de cada punto levantado.

Debido a que uno de los objetivos de esta tesis es el mostrar las bondades y limitaciones del GPS en este tipo de mediciones, es necesario realizar las mediciones en varios días para que se presenten diferentes circunstancias como lo son climáticas, atmosféricas, de geometría y de recepción de satélites.

En la tabla 4 se presenta un resumen de las mediciones realizadas en los cuatro días.

Circuito 1 al 8			Fecha de medición 20/08/2002
Duración de la medición	Distancia total de medición	Error de Inversión Promedio	
(h)	(m)	(m)	
2.50	3613.85	10.97	

Circuito 9 al 14			Fecha de medición 28/08/2002
Duración de la medición	Distancia total de medición	Error de Inversión Promedio	
(h)	(m)	(m)	
3.50	3282.76	8.12	

Circuito 15 al 19			Fecha de medición 13/09/2002
Duración de la medición	Distancia total de medición	Error de Inversión Promedio	
(h)	(m)	(m)	
4.25	2627.32	15.06	

Circuito 20 al 23			Fecha de medición 19/09/2002
Duración de la medición	Distancia total de medición	Error de Inversión Promedio	
(h)	(m)	(m)	
2.00	1776.18	10.52	

Tabla 4. Resumen de los cuatro días de medición

Por lo que se tuvo un total de distancia medida de 11.3 Km., en 12.25 horas.

En base a la técnica utilizada para obtener el plano base del Parque, que para este caso fue el GPS autónomo con la modalidad de Waypoint logramos obtener un plano con un error promedio de 10.5 metros en la horizontal. En este plano también se obtuvo la ubicación de las características reales de las veredas y caminos del parque, así como explanadas, construcciones, ríos, viveros y demás zonas de interés del Parque.

Con este trabajo el cual fue entregado para su uso al Ejido de San Nicolás Totolapan, los usuarios de este lugar pueden saber ahora la longitud y dirección para llegar al destino deseado. También el parque podrá reportar a la Delegación con un plano real sus diversas actividades y crecimiento del mismo.

El beneficio mas significativo de este trabajo para el Ejido es la seguridad que se le ofrece al visitante ya que se tiene un mayor control de las rutas del Parque en dado caso que ocurra un accidente, pues se puede crear la ruta más óptima de acceso al lugar del siniestro.

En el aspecto ingenieril este plano tiene diversas aplicaciones como lo son:

En este Parque se van a realizar trabajos de urbanismo donde la Urbanista usará este plano para generar la señalización correspondiente en cada zona, así como ubicación de servicios como baños, restaurantes, casetas de guardias forestales.

Debido a que este Ejido realiza trabajos de reforestación y conservación de flora y fauna podrá cuantificar su trabajo y zonificar el mismo. Este trabajo lo realiza conjuntamente con CORENA

En topografía, tener un plano a nivel anteproyecto es importante, ya sea para un futuro levantamiento topográfico, pues con dicho plano se puede cuantificar tiempos reales de trabajo y dividir el Parque en brigadas para agilizar el levantamiento.

En dado caso que este lugar no fuese destinado para la recreación sino para un proyecto de vivienda, con este tipo de planos se podrá iniciar los trabajos de planeación del proyecto, pues con esto se puede iniciar las ubicaciones de los diferentes cuerpos de edificación, los accesos más óptimos para la obra y la ubicación de campamentos.

BONDADES	LIMITACIONES
<ul style="list-style-type: none">❖ Tamaño muy accesible para su transportación❖ El costo del aparato es de \$2,500 en promedio (esto dependiendo de sus características).❖ Para realizar este levantamiento no es necesario tener conocimientos de topografía❖ El uso del aparato es muy sencillo al igual que el procesamiento de datos, pues no es necesario realizar ninguna corrección en gabinete❖ El tiempo de ejecución es muy corto.	<ul style="list-style-type: none">❖ No es posible obtener una precisión menor de cinco metros, por que no se tiene una corrección diferencial.❖ No todos los días se pueden realizar mediciones por la geometría de los satélites.❖ No es posible realizar mediciones en zonas muy arboladas.

4.2 Discusión del Lago de Alchichica.

La tabla 2 presenta la información de los 151 puntos del Lago de Alchichica con los cuales se generó el plano PA1 con el que se calculó que el área del lago que es de 2,240,263.615 m² y un perímetro de 5,797.26 m. Debido a la sencillez del método este fue realizado por una sola persona en un tiempo de 4.5 horas.

En la foto 10 aparece una parte del Lago, donde podemos comparar la magnitud del Lago con respecto a los automóviles que aparecen en la parte inferior de la foto.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Foto 10. Panorámica del Lago.

Con la finalidad de tener lo mas aproximado el perímetro de la laguna y alcanzar la precisión que necesita el Instituto de Geofísica se tomaron las lecturas a una distancia promedio de 20 metros donde la topografía era muy irregular y en las zonas donde el terreno era mas homogéneo se tomaron con un promedio de 100 m.

El error obtenido en esta medición es de 30 cm, el cual fue debido a las especificaciones que se le dieron al GPS, la cual fue posible pues tenemos una corrección diferencial en tiempo real. A diferencia del trabajo realizado en San Nicolás Totolapan en este lago se tiene una zona totalmente despejada de árboles, construcciones y montañas lo cual permite eliminar todo error generado por rebote de señal u obstrucción de la misma.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

EL método utilizado para el levantamiento del Lago de Alchichica, que fue el de Tiempo Real Cinemático (RTK), cumplió con los propósitos en cuestión de precisión fijados para este trabajo, ya que el error promedio fue de 20 centímetros en la horizontal y en la vertical de 80 centímetros.

Este método, que permite realizar este tipo de mediciones en tiempos muy cortos, es bastante preciso para los estudios limnológicos. Se puede realizar varios levantamientos con los cuales se puede determinar los diferentes niveles del Lago producidos por efectos de evaporación e infiltración.

Otra aplicación que ofrece el GPS para este caso, es la georeferenciación de puntos de interés dentro del Lago para el limnólogo, como pueden ser tipos de vegetación, estructuras geológicas, localización de manantiales, puntos de muestreo y otros puntos de interés.

El GPS diferencial puede ofrecer una mayor precisión dependiendo del método a utilizar, como por ejemplo el haber realizado el levantamiento del Lago con el mismo método RTK pero con un mayor tiempo de ocupación por punto, ya que nosotros solamente especificamos 15 segundos de recepción por punto, o haber utilizado el método Estático Rápido que necesita de 15 minutos en adelante para cada punto, pero como se explicó anteriormente, el método RTK cumple con los requisitos necesarios para obtener área y perímetro del Lago, con suficiente precisión, considerando el tiempo en que se llevo a cabo el levantamiento.

Bondades	Limitaciones
<ul style="list-style-type: none">❖ La precisión con el método RTK puede ser de pocos centímetros en X, Y.❖ El tiempo de levantamiento para este método es muy corto.❖ Es mas sencillo el proceso de datos en gabinete que el de datos topográficos, aunque mas complejo que los del GPS autónomo.❖ La precisión de la coordenada Z puede ser de centímetros a diferencia del GPS autónomo que puede ser de varios metros.	<ul style="list-style-type: none">❖ EL costo del equipo nuevo es en promedio de \$ 500,000.❖ No todos los días se pueden realizar mediciones por la geometría de los satélites.❖ Para iniciar el trabajo se necesita un punto georeferenciado por el INEGI o establecer una base con mediciones estáticas.

5.- CONCLUSIONES

5.1 Conclusiones Generales

Este proyecto consta de dos casos que presentan condiciones extremas de recepción de señales, esto se estableció para ejemplificar donde poder aplicar esta tecnología en la actividad cotidiana del Ingeniero Civil y que puede esperar en cuanto a resultados. En el caso del Ejido es el caso donde se tiene mucha interferencia, la cual nos lleva a afirmar que cuando nos encontramos en las faldas de una montaña la recepción no será muy buena y peor aún si nos encontramos en medio de dos montañas como es el caso de la foto 8, también al irnos a mediciones dentro de las ciudades habrá que fijarse si se tiene edificios o inclusive casas aledañas pues estas nos provocarán el rebote de señales o interferencia de las mismas, si es el caso, en ciertas ocasiones bastará alejarse unos pasos y tendremos recepción, pero no siempre es posible obtener la recepción deseada.

Antes de iniciar esta tesis realizamos varios recorridos dentro de la ciudad para sensibilizarnos en cuanto a los lugares donde no hay interferencia y nos llevamos varias sorpresas ya que en ocasiones el GPS diferencial no tenía señal y el autónomo si o viceversa.

El Lago de Alchichica presenta las condiciones opuestas a las encontradas en el Parque ya que aquí no contábamos con ningún obstáculo que nos impidiera la recepción de la señal, es decir teníamos un cielo abierto. Estas condiciones pueden presentarse en las ciudades cuando tenemos extensiones considerables de terreno.

Por lo tanto se recomienda que si se desea tener la mejor precisión posible deberá tenerse condiciones a cielo abierto y planear con anticipación la medición con el uso de las efemérides. Esto no nos limita ya que se podrá en ocasiones medir con obstáculos y sin contar con una geometría de satélites óptima, pero nuestra precisión disminuirá considerablemente, esta decisión dependerá de las necesidades del proyecto.

También dependiendo de la necesidad del proyecto se tendrá que decidir que tipo de GPS utilizar (GPS diferencial o autónomo), evaluando las bondades y limitaciones de cada uno de estos como son precisión y costo principalmente.

Si se opta por una medición de tipo diferencial, se tendrá que elegir entre los distintos métodos que ofrece el sistema. Esto al igual dependerá del tiempo con que se cuenta para realizar la medición, ya que es un factor importante en cuestión de costo y precisión. Si se elige el método cinemático tendremos dos opciones, una con corrección de datos en tiempo real y otra con un postproceso, la diferencia fundamental entre estas dos es que con la corrección en tiempo real se cuenta con los datos corregidos en el instante, ya que por necesidades del trabajo se podrán analizar estos datos en campo, y con el postproceso de datos en gabinete se obtiene una mayor precisión. Para el caso del método Estático Rápido los tiempos de recepción son de 30 minutos a 2 horas, y cuenta con los dos tipos de corrección de datos; en tiempo real y postproceso, y para el método Estático los tiempos de recepción son desde 2 horas hasta 2 días continuos de medición y únicamente cuenta con el método de postprocesamiento de datos.

5.2 Aplicaciones del GPS en la Ingeniería Civil

En la construcción la utilidad del GPS puede ser aplicada en diversas etapas de la misma, como puede ser en cuestión de planeación, respecto al anteproyecto el GPS autónomo nos sirve para realizar estudios previos al proyecto en cuestión, ya que en la primera visita a campo, nos sirve para la ubicación de las principales zonas de interés como pueden ser caminos de acceso, ojos de agua, campamentos, zonas de riesgo como barrancas, bancos de materiales, así como tener acceso a bancos de nivel.

Dentro de la misma área de la construcción, el GPS diferencial puede ayudarnos para la obtención de volúmenes de materiales a transportar, ya que se puede obtener el volumen de un banco de material (el método de tiempo real cinemático sería el mas recomendable por la rapidez del trabajo, ya que se tomaría lecturas en diferentes puntos del banco de material para obtener una aproximación muy cercana al volumen) y con esto calcular la cantidad de

viajes a realizar por los camiones de carga y ayuda a determinar el tipo de maquinaria pesada a utilizar.

En cuestión del control para las velocidades de los camiones, el GPS autónomo cuenta con un velocímetro con el se podrá saber si el vehículo va a exceso de velocidad, para prevenir futuros accidentes, este control se obtiene al final del día con la descarga de los datos a la computadora.

En el área topográfica la aplicación del GPS autónomo servirá para cuantificar aproximadamente el trabajo de topografía a realizar y con este poder dar una cotización del levantamiento. El GPS diferencial podrá sustituir los métodos tradicionales de topografía tomando en cuenta las limitaciones del GPS mencionadas anteriormente. También podremos generar bancos de nivel con el método estático donde mas nos convenga.

Para la aplicación de GPS en Geotecnia tenemos en primer lugar el control de las mediciones de asentamientos diferenciales los cuales se realizan con un GPS diferencial con mediciones estáticas en la parte superior del inmueble en estudio, ya que podremos obtener una buena precisión del GPS mediciones de 1 o 2 centímetros.

En el Municipio de Amatepec Estado de México el Instituto de Geofísica realiza un estudio a cerca del deslizamiento de un talud, en el cual se colocaron varios puntos medidos con un GPS diferencial (medición estática) para así con este saber la dirección y velocidad de su desplazamiento.

Por último en las aplicaciones en geotecnia la Comisión Nacional de Aguas (CNA) está actualmente realizando trabajos de georreferenciación de pozos usando el GPS, ya que con las coordenadas obtenidas podremos regresar al pozo indicándole al GPS las coordenadas y éste nos indicará el trayecto.

En el área de Sistemas de Transporte tenemos una amplia gama de aplicaciones como lo son:

En la Aeronáutica el GPS está siendo perfeccionando para que en un corto tiempo pueda sustituir a los sistemas de radionavegación. En esta área del transporte ha tardado más su implementación ya que la precisión necesaria debe de ser mayor.

El Canal de Panamá implementó el 30 de enero de 2000 una nueva herramienta de navegación que les permite a los usuarios ver el movimiento de las naves a lo largo de la vía acuática en tiempo real. Conocido como el sistema de Comunicaciones, Administración de Tráfico y Navegación (CTAN por sus siglas en inglés), el mismo utiliza el GPS para rastrear las naves en tránsito y un programa de computadora para mostrar la información.

El CTAN es un sistema alterno que se utiliza en el Canal de Panamá para navegar por la vía interoceánica, además del giroscopio y del radar, que son las herramientas con que cuentan todas las naves para determinar su posición.

Para el control de tránsito de los ferrocarriles, se podría implementar un sistema GPS, dentro de las locomotoras, con el cual desde la torre de control se puede monitorear la posición y velocidad de estos.

Similar a los medios de transporte anteriores, vehículos de transporte, como pueden ser trailers, camiones, etc., pueden ser rastreados vía GPS, lo cual proporciona una seguridad para los propietarios, así como un valor agregado al usuario. También el GPS se utiliza como una computadora de viaje, para este medio de transporte.

Uno de los beneficios más importantes del GPS, es que sirve como base para la implementación de un Sistema de Información Geográfica (SIG), ya que para este siempre es necesario tener una ubicación única en el planeta, siendo el GPS la herramienta necesaria para la obtención de esta georeferenciación. El SIG es utilizado en los países mas desarrollados del mundo. En México se esta comenzando a desarrollar el SIG, ya que existen estados de la República como lo son el de Chiapas y Sonora, en donde se están creando SIG's de todo el estado.

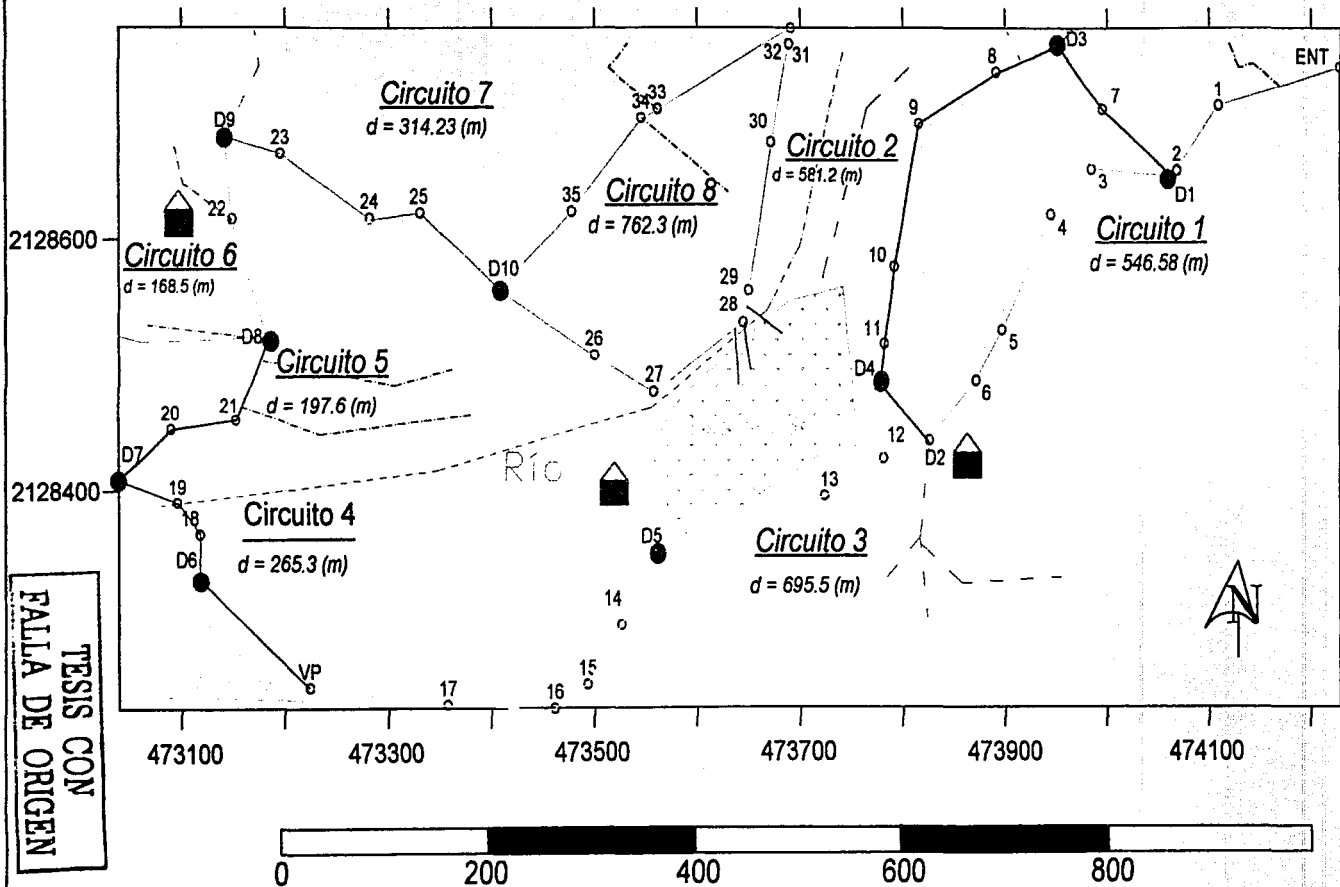
Un Sistema de Información Geográfica es necesario en toda ciudad, principalmente en la Ciudad de México, ya que la necesidad de tener diferentes bases de datos en distintas áreas, como tránsito, usos de suelo, datos poblacionales, agricultura, ganadería, etc., facilitaría el desarrollo de las áreas arriba mencionadas, así como muchas otras.

6.- Bibliografía

1. Gregor T French
"Understanding the GPS"
1^{era} edición 1996
Publicado por Geo Research
Impreso en EEUU
2. David Wells
"Guide to GPS Positioning "
2^{da} edición 1987
Impreso en Canadá
3. Paul Wolf
"Topografía"
9^a edición 2002
Publicado por Alfaomega
Impreso en México
4. Internet
www.mundogps.com
www.tccorp.com
www.garmin.com
5. Geofísica Internacional 1998
Vol.37 num.2
Dr. Luis Marín
6. Trimble Survey Controller
Manual de referencia Vol I y II
Ed 1999
Impreso en EEUU

7.- Anexo

PBT1



PBT2

2128400

2128200

2128000

2127800

2127600

2127400

2127200

2127000



Circuito 9
 $d = 636.1 \text{ (m)}$

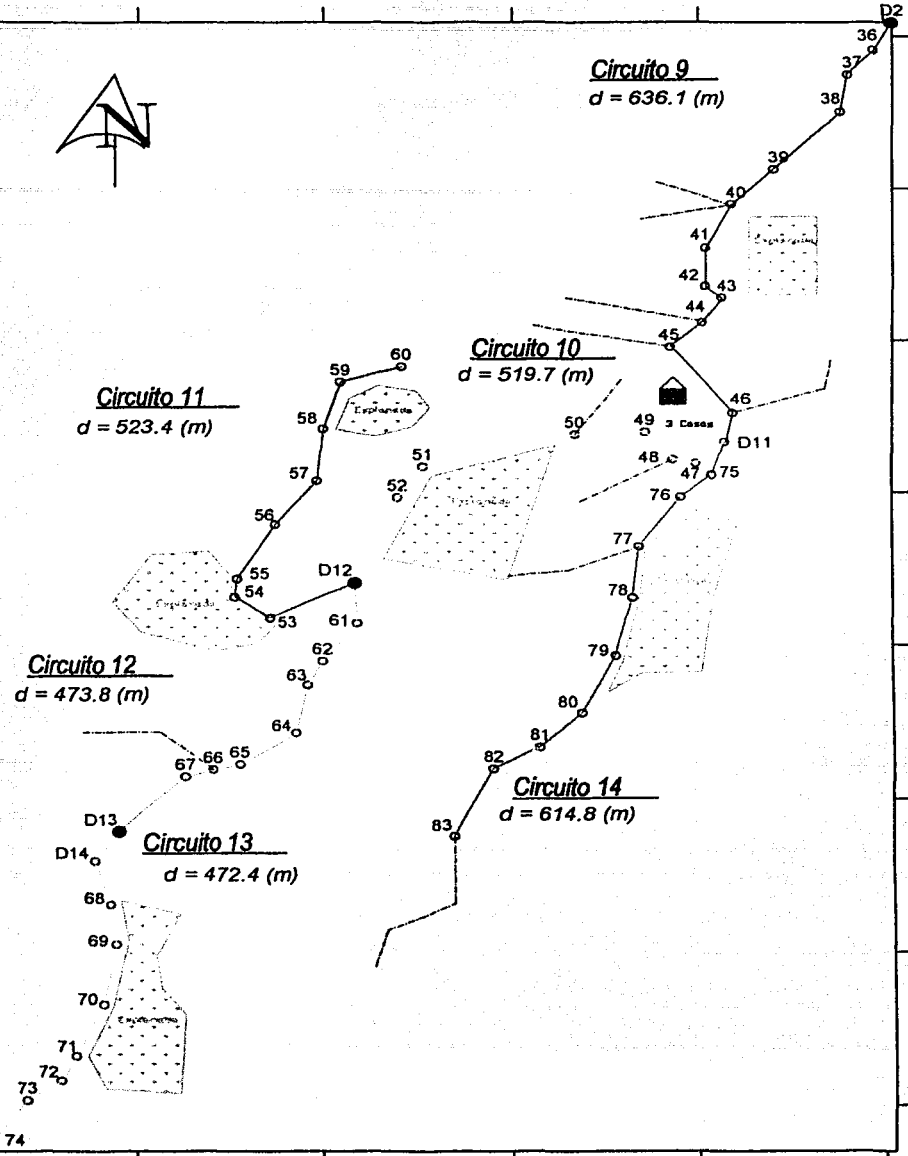
Circuito 10
 $d = 519.7 \text{ (m)}$

Circuito 11
 $d = 523.4 \text{ (m)}$

Circuito 12
 $d = 473.8 \text{ (m)}$

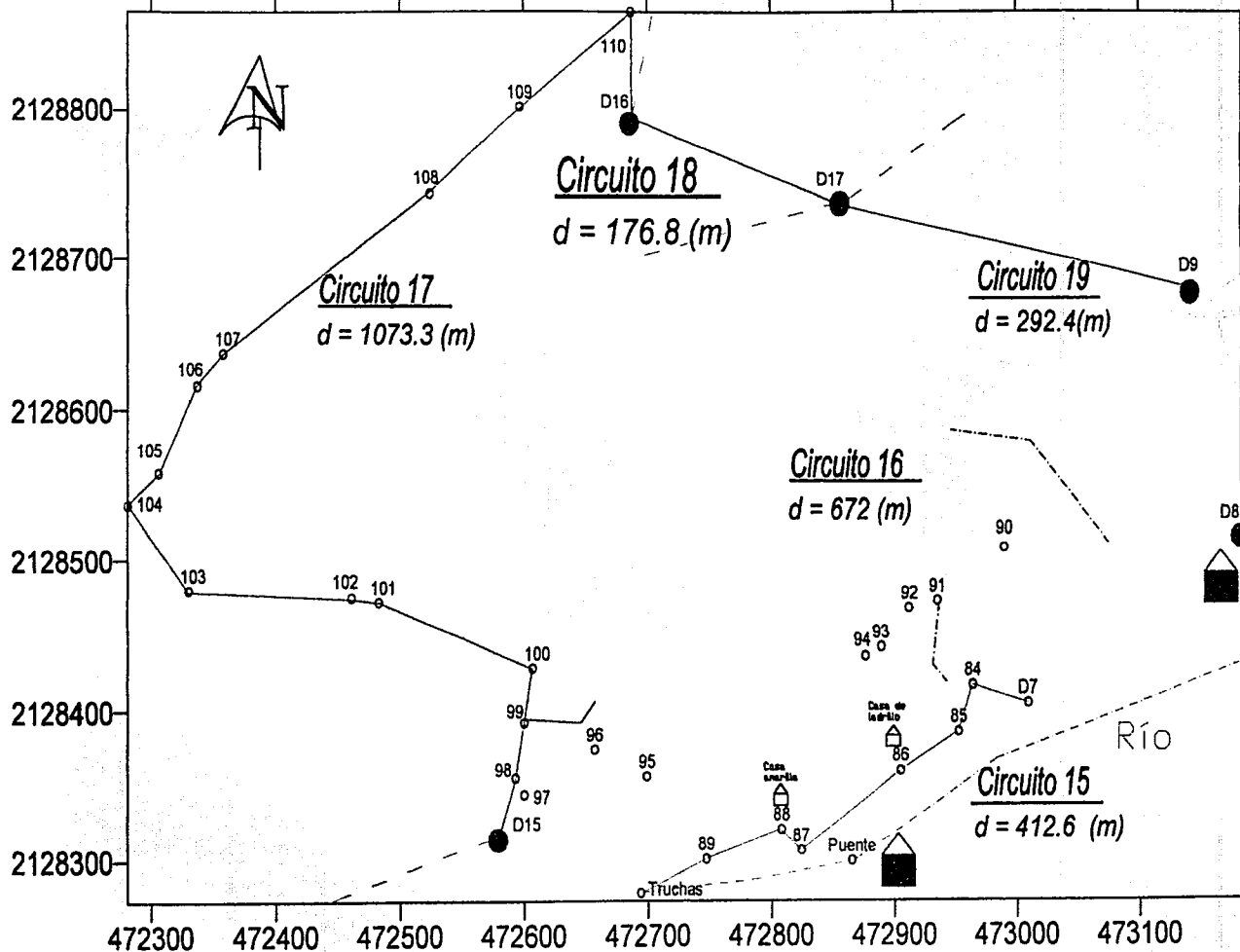
Circuito 13
 $d = 472.4 \text{ (m)}$

Circuito 14
 $d = 614.8 \text{ (m)}$

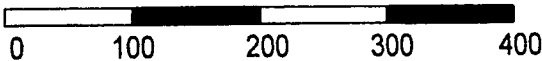


TESIS CON
FALLA DE CARGEN

PBT3

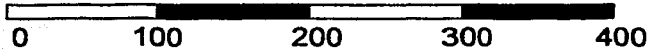
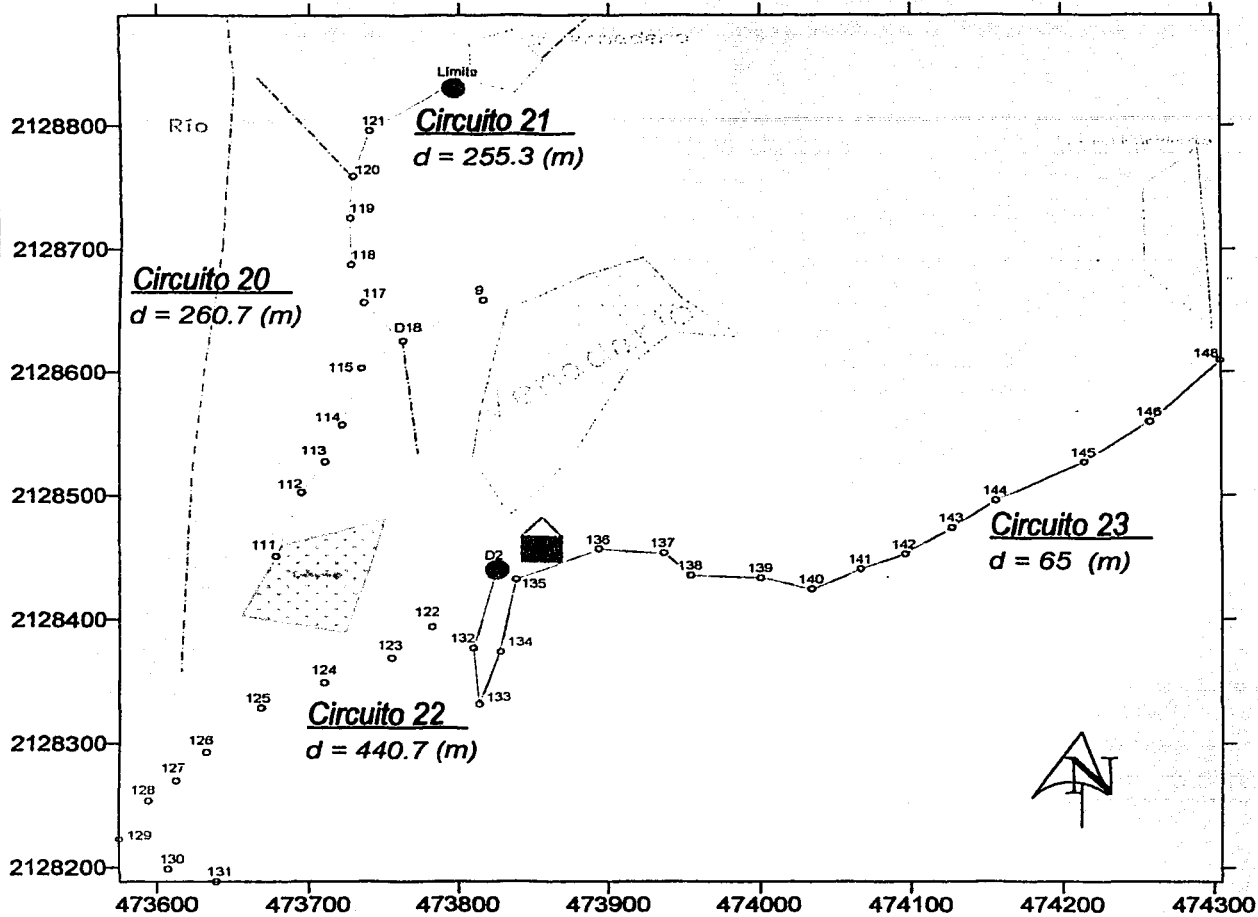


TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



763

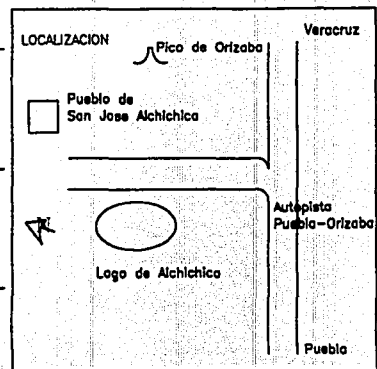
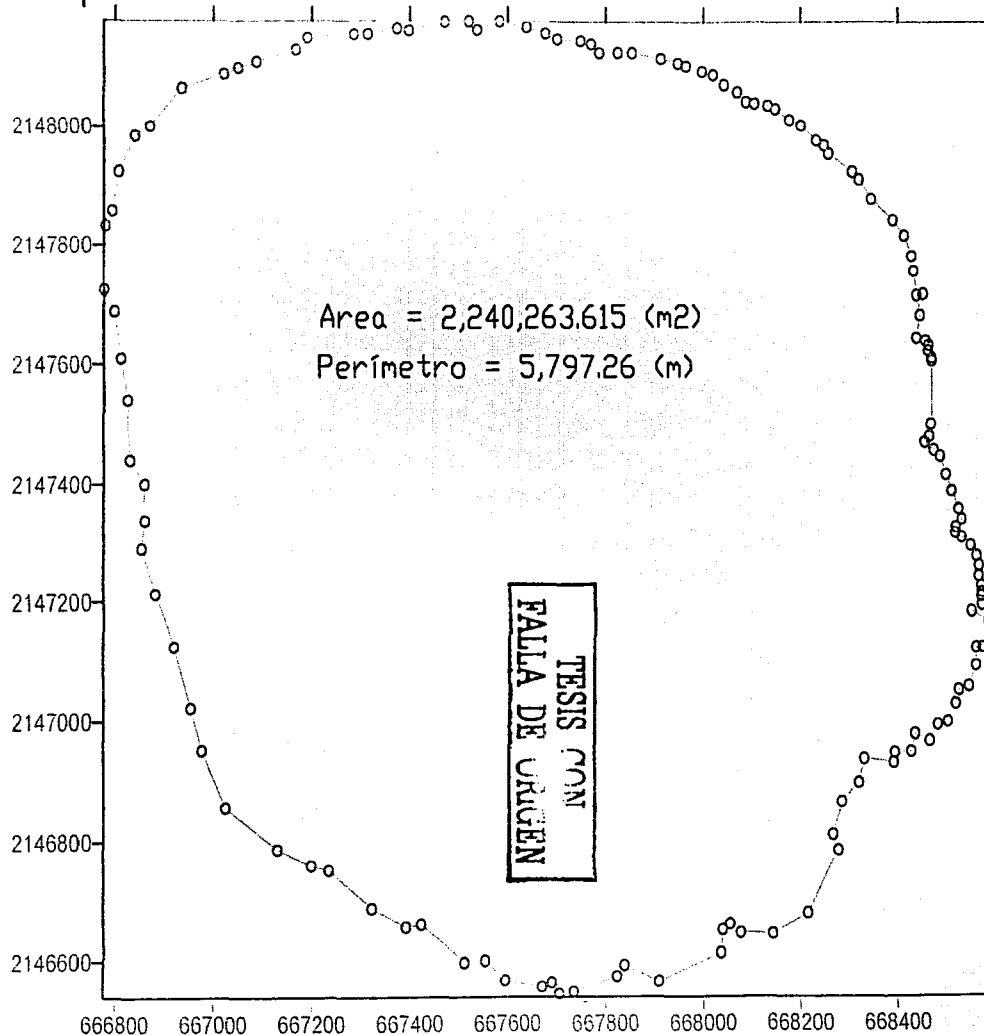
PBT4



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



PA1



DIRECCION:

CARRETERA 140 EN EL KM 22

RUMBO A SAN JOSÉ ALCHICHICA

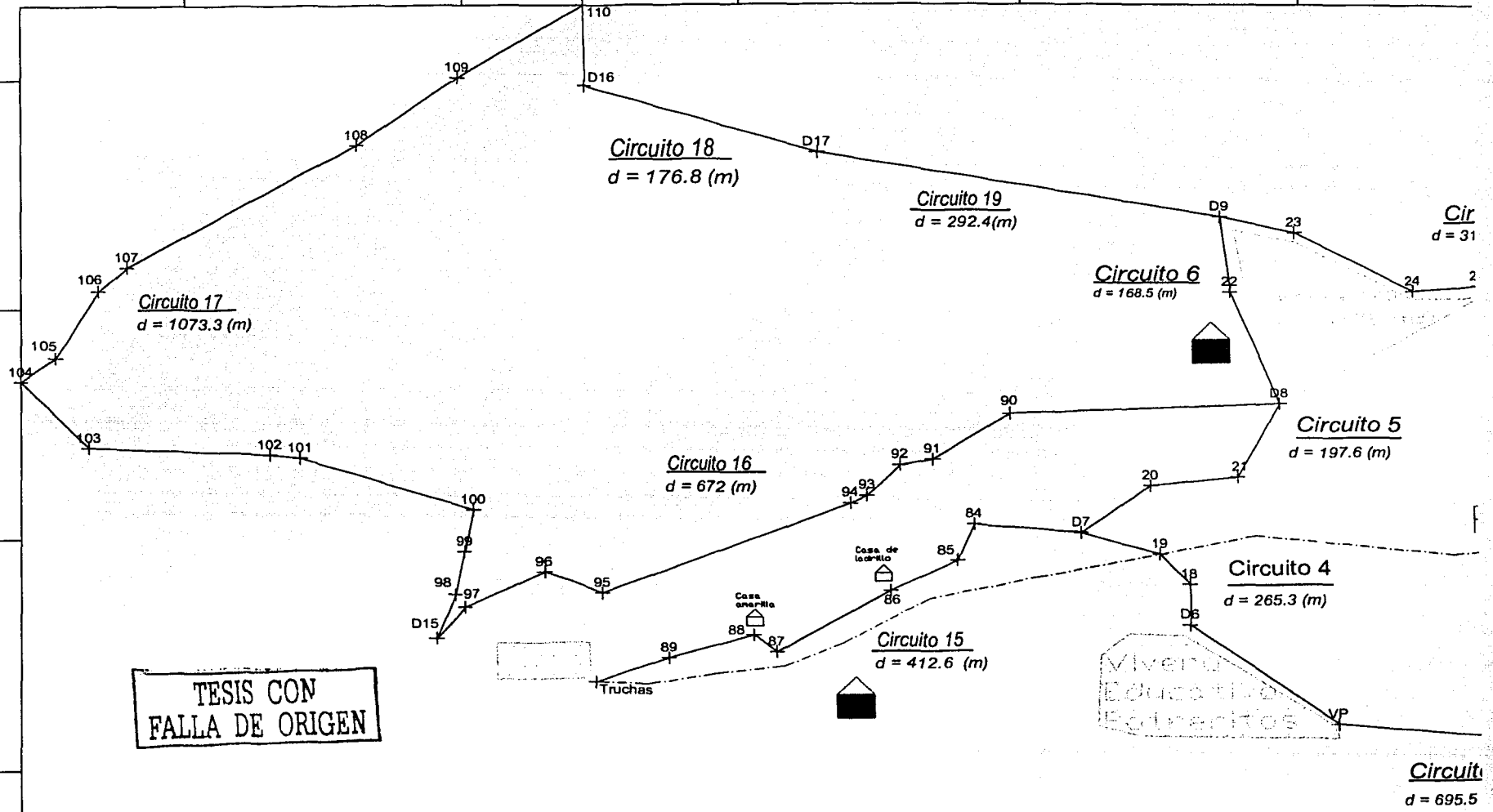
TESIS CON FALLA DE ORIGEN

2128800

2128600

2128400

2128200

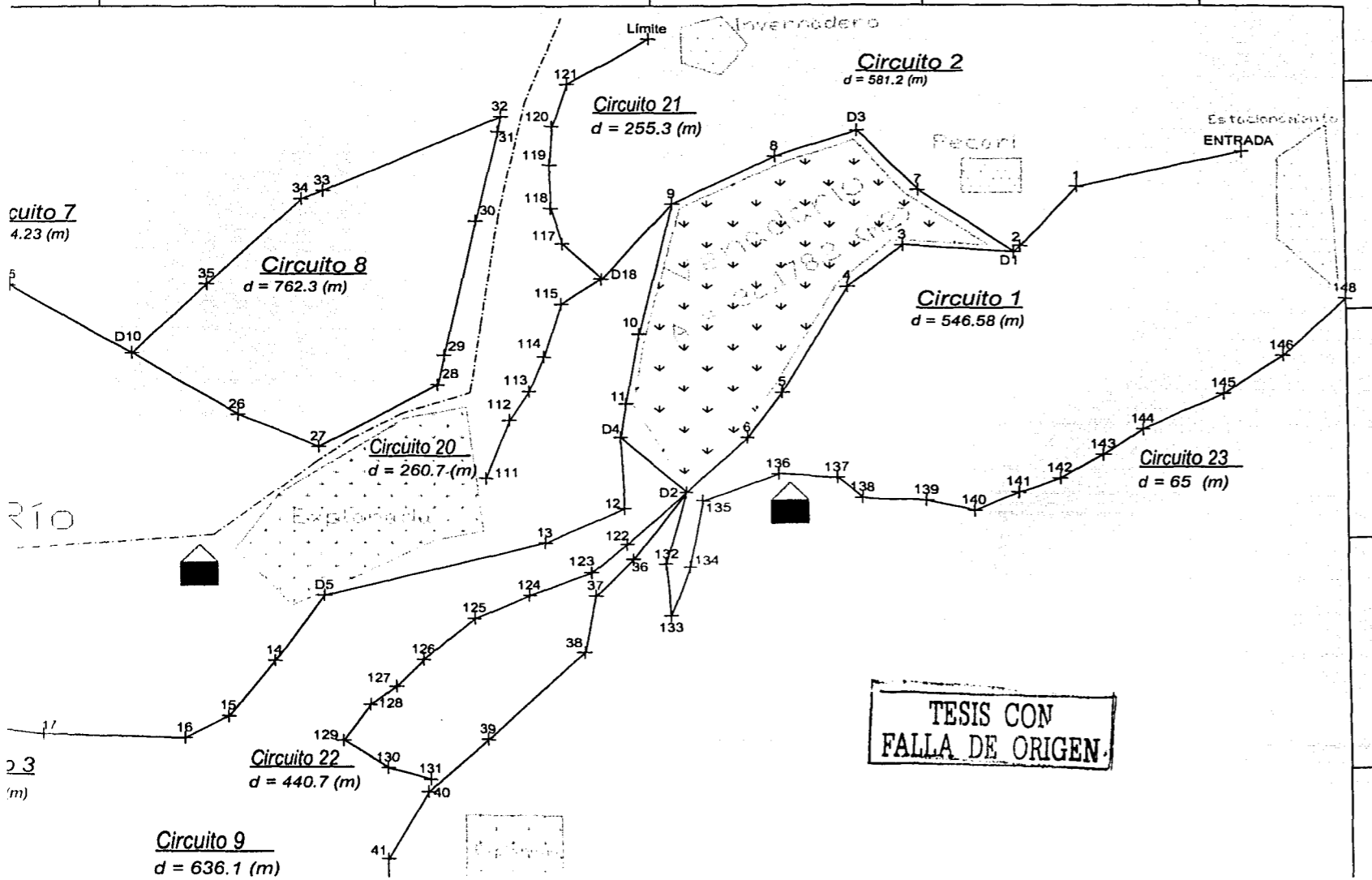


TESIS CON FALLA DE ORIGEN

FALLA DE ORIGEN

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



TESIS:
**APLICACIÓN Y ANÁLISIS
 DEL GPS
 EN LA INGENIERÍA CIVIL**

DIRECCION:
 CARRETERA PANORÁMICA AL AJUSCO

2128000

2127800

2127600

2127400

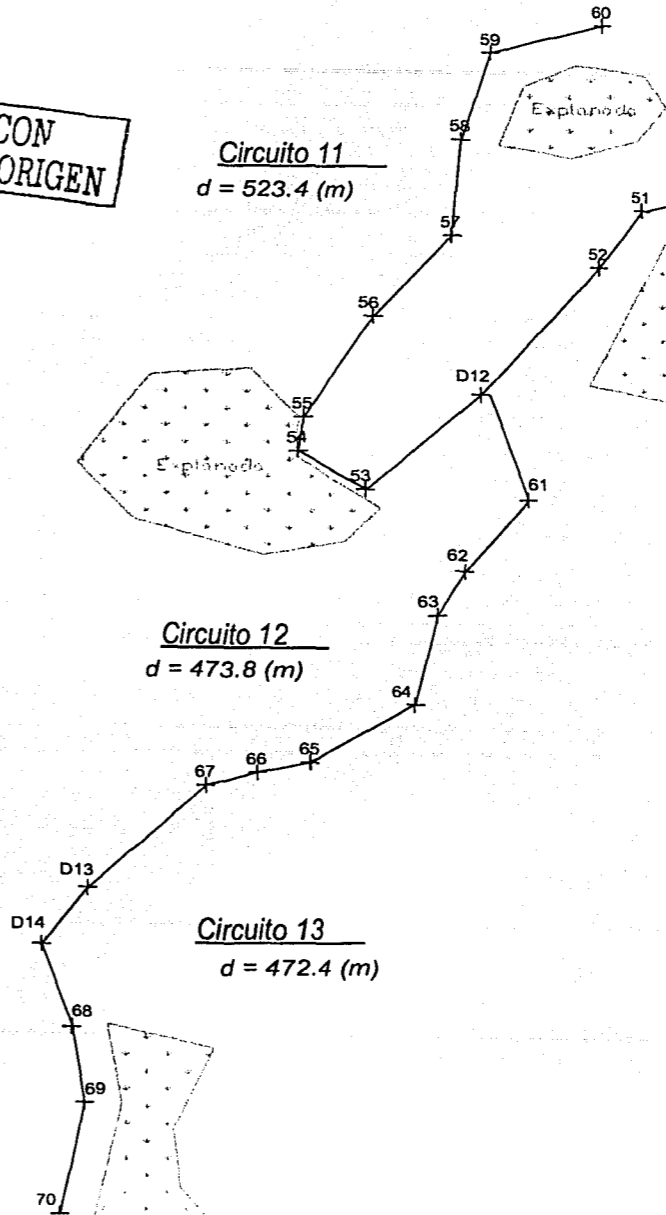
2127200

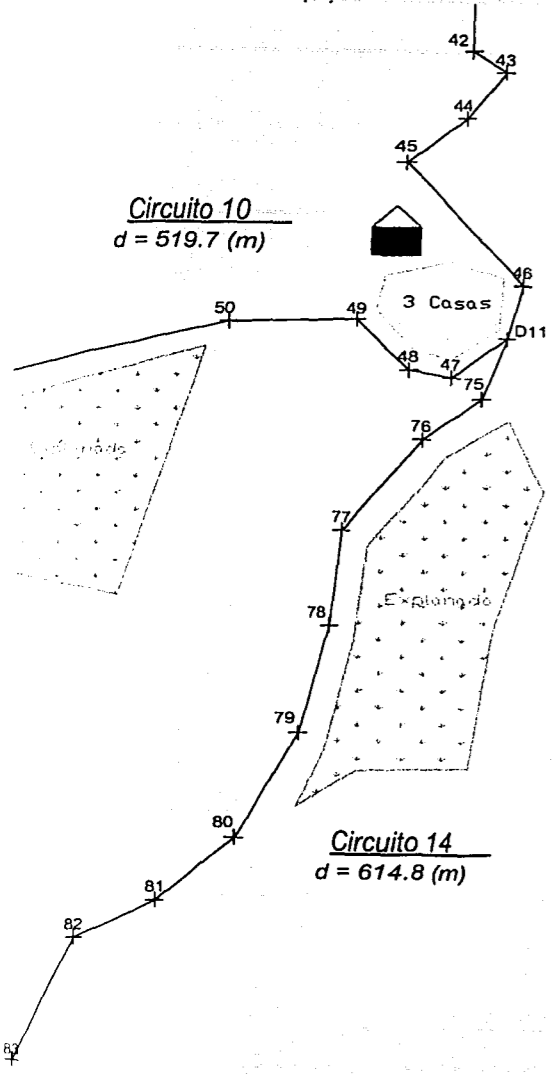
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Circuito 11
 $d = 523.4 (m)$

Circuito 12
 $d = 473.8 (m)$

Circuito 13
 $d = 472.4 (m)$








TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



KM. 11.5

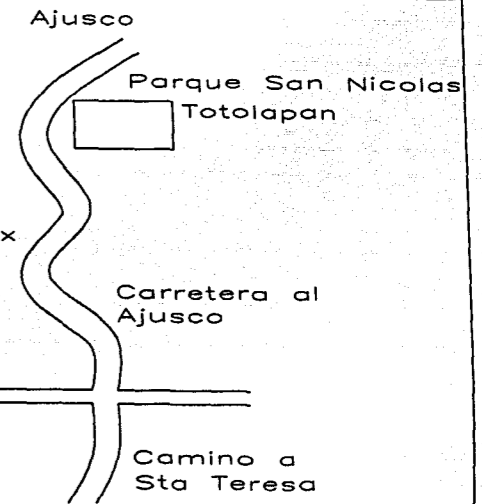
SIMBOLOGIA:

-  CONTINÚA CAMINO SIN LEVANTAMIENTO
-  CONSTRUCCIÓN DE MADERA
-  LETRERO DE MADERA CON DESVIACIÓN
- Circuito 1 NÚMERO DEL CIRCUITO
- d = 546.58 (m) DISTANCIA DEL CIRCUITO
- 58 NOMBRE DEL PUNTO
- o

DIBUJO:

Pedro Meneses Larios
José Luis Palomares Franco

LOCALIZACION



PERIFÉRICO

PLANO

Plano Base



2127000

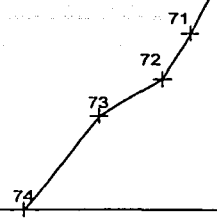
472400

472600

472800

473000

473200



del C1 al C23

CLAVE:

PG1

ESCALA:

GRAFICA

473400 473600 473800 474000 474200



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

76-6

8.- GLOSARIO

NAVSTAR	Satélite perteneciente al GPS.
SV's	Satélite o vehículo espacial.
Timing	Servicio de control del tiempo.
Senda	Órbita de un satélite.
VOR/DME	Radio omnidireccional de muy alta frecuencia/Equipo de dimensionamiento.
ILS	Sistema de aterrizaje por instrumentos.
GLONASS	Sistema de posicionamiento global de Rusia.
Galileo	Sistema de posicionamiento global de Europa.
LORAN	Detector electromagnético para la navegación de los barcos.
OMEGA	Sistema de Radionavegación.
NTS-2	Primer satélite del GPS.
Datum	Modelo matemático utilizado para el cálculo de coordenadas.
p.p.m.	Partes por millón.
C/A	Código enviado por los satélites de común adquisición.
RTK	Medición en tiempo real cinemático.
DGPS	GPS diferencial.
Línea Base	Distancia entre el receptor o móvil y la base.
Error de inversión	Error calculado por el GPS autónomo en el momento de realizar la medición.
Efemérides	Información que el satélite proporciona al GPS, sobre su posición exacta y el tiempo exacto en UTM.
Almanaque	Son los mismos datos que proporcionan las efemérides pero con respecto a los demás satélites de la red, así como sus orbitas.
DOP	Dilución de la precisión.
PDOP	Dilución de la precisión en todas las direcciones.
Altura elipsoidal	Altura medida a partir del elipsoide de referencia.
Plano base	Plano a nivel anteproyecto,