

01125
7



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

"CALCULO DE AJUSTES POR EL METODO DE MINIMOS
CUADRADOS DE LA RED GEODESICA DEL CAMPUS DE
CIUDAD UNIVERSITARIA (UNAM)"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO TOPOGrafo Y GEODESTA

P R E S E N T A :

PATRICIA GUTIERREZ ARREDONDO



TITULAR: ING. ADOLFO REYES PIZANO
ASESOR: M.I. RAYMUNDO ARVIZU DIAZ

MÉXICO D.F..

2003



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
AVENIDA DE
MEXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA
DIRECCIÓN
FING/DTG/SEAC/UTIT/006/02

Señorita
PATRICIA GUTIERREZ ARREDONDO
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor ING. ADOLFO REYES PIZANO, que aprobó esta Dirección, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO TOPÓGRAFO Y GEODESTA.

"CÁLCULO DE AJUSTES POR EL MÉTODO DE MÍNIMOS CUADRADOS DE LA RED GEODÉSICA DEL CAMPUS DE CIUDAD UNIVERSITARIA (UNAM)"

INTRODUCCIÓN

- I. SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS): NAVIGATION SATELLITE TIMING AND RANGING (NAVSTAR)
- II. SELECCIÓN DE VÉRTICES
- III. POSICIONAMIENTO DE LOS VÉRTICES
- IV. CÁLCULO DE AJUSTES
- V. CALIBRACIÓN DE LOS RECEPTORES (GPS)
- VI. CONCLUSIONES

Ruego a usted 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 le 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. Universitaria a 11 enero 2002.

EL DIRECTOR


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

DEDICATORIA:

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

AGRADECIMIENTOS:

Agradezco a todas aquellas personas que me dieron el apoyo incondicional, para la realización de este trabajo; a mi familia, profesores y amigos, que de alguna manera aportaron parte de sus conocimientos y de su tiempo, pero sobre por brindarme una parte ellos.

DEDICATORIA:

Esta tesis esta dedicada a las 6 personas que siempre estuvieron conmigo:

A MIS PADRES: ESPERANZA y CARLOS por ser mis mejores amigos.

A MI NOVIO: OMAR por tu apoyo incondicional, tu amor y cariño que siempre me has mostrado.

A MIS HERMANAS: ALE Y CLAUDIA ya que sin ustedes no lo hubiera logrado, gracias.

A UN GRAN AMIGO: ALE ROQUE por enseñarme a defender mis pensamientos.

GRACIAS

INDICE

INTRODUCCIÓN.-		1
CAPITULO I.-	Sistema Global de Posicionamiento (GPS): NAVIGATION SATELLITETIMING AND RANGING (NAVSTAR) .-	3
	<i>I.1.- Sistema Global de Posicionamiento NAVSTAR GPS.</i>	5
	<i>I.2.- Sistemas de Coordenadas.</i>	9
	<i>I.2.1.- Sistema de Coordenadas Topocéntrico.</i>	11
	<i>I.2.2.- Sistema de Coordenadas Egocéntrico.</i>	12
	<i>I.2.3.- Transformación de Coordenadas.</i>	12
	<i>I.3.- Datum WGS84.</i>	13
CAPITULO II.-	Selección de los Vértices.-	18
	<i>II.1.- Planeación, Metas, Estrategias y Tiempos.</i>	20
	<i>II.2.- Recursos.</i>	23
	<i>II.3.- Acciones</i>	24
CAPITULO III.-	Posicionamiento de los Vértices.-	28
	<i>III.1.- Objetivo.</i>	30
	<i>III.2.- Equipo.</i>	31
	<i>III.3.- Metodología.</i>	37
	<i>III.4.- Post-Proceso.</i>	38
	<i>III.5.- Resultados.</i>	40
CAPITULO IV.-	Cálculo de Ajustes.-	56
	<i>IV.1.- Descripción de los datos terrestres y satelitarios.</i>	57
	<i>IV.2.- Modelos Matemáticos para las Observaciones terrestres.</i>	60
	<i>IV.3.- Combinación de las Observaciones terrestres y satelitarias, (Matriz "A").-</i>	78
	<i>IV.3.1.- Matriz de diseño "A": coeficientes de los ángulos.</i>	80
	<i>IV.3.2.- Matriz de diseño "A": coeficientes de las distancias.</i>	85
	<i>IV.4.- Resultados.</i>	88

CAPITULO V.-	Calibración de los Receptores Global Positioning System (GPS).-	93
	<i>V.1.- Observaciones de Campo.</i>	94
	<i>V.2.- Resultados.</i>	115
	<i>V.3.- Programa para el cálculo de Ajustes de la Red Geodésica.</i>	118
CAPITULO VI.-	Conclusiones.-	121
APÉNDICE.-	Programa del Cálculo de Ajustes de la Red Geodésica en el Campus Universitario.	126
REFERENCIAS.-		127

INTRODUCCIÓN.-

Una red geodésica es un conjunto de puntos (vértices geodésicos) ubicados en la superficie terrestre en los cuales se determinan su posición geográfica diferencial (latitud, longitud y elevación) mediante el uso de receptores GPS. Al hablar de posición diferencial geográfica nos referimos a la determinación de coordenadas a partir de puntos con coordenadas conocidas.

El empleo de una red GPS de control, en cualquier obra de Ingeniería, tiene muchas ventajas debido a que los puntos que se colocan no necesitan tener intervisibilidad uno a otro, además que su ubicación se elige de manera que su acceso sea fácil agilizando los tiempos de uso del punto.

La creación de redes geodésicas es con la idea de regular que todos los proyectos topográficos y cartográficos que se realicen, queden ligados a un solo sistema de referencia geográfica.

La red geodésica proporciona coordenadas precisas, gracias a las cuales los agrimensores, pueden ubicar confiablemente sus medidas de localización en el terreno. Esta malla de coordenadas geográficas constituye la referencia terrestre sobre la que se apoya cualquier trabajo de cartografía.

Como vemos las redes geodésicas son redes de referencia sobre la superficie terrestre, sin embargo, estas redes representan una moderna herramienta para la localización, ya que estas permiten que sus vértices efectúen trabajos de posicionamiento centimétrico en tiempo real, además de que permite también llevar a cabo trabajos de calibración, donde el usuario tiene la posibilidad de verificar y calibrar instrumentos.

La presente, tiene como objetivo el mostrar a todas aquellas personas interesadas; el desarrollo del establecimiento de una red geodésica de calibración (dentro del campus universitario). Ya que dicha red de calibración tiene como fin dar al usuario un servicio de verificación y calibración de los instrumentos -receptores GPS específicamente. Además la red cuenta con la función de proporcionar referencia a todos aquellos trabajos de cartografía, levantamientos topográficos o geodésicos, etc.

También se estudiarán los modelos matemáticos que sirven para el cálculo de ajuste por mínimos cuadrados, de la red geodésica de calibración la cual proporciona, una vez ajustada; cuatro vértices geodésicos de calibración. Y como apoyo al cálculo de ajustes por mínimos cuadrados de la red geodésica, se presenta en el apéndice un programa que nos sirve de apoyo al proporcionarnos mayor eficiencia y rapidez al realizar dicho cálculo (compilador MAT-LAB).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPITULO I.-

Sistemas Globales de Posicionamiento

NAVSTAR GPS

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

I.- SISTEMAS GLOBALES DE POSICIONAMIENTO: NAVSTAR GPS Y GLONASS.

El principal método radiométrico que sentó las bases para elaborar los sistemas globales contemporáneos, fue el NNSS (Navy Navigation Satellite System). Es por eso que en la actualidad se utilizan dos sistemas de posicionamiento global satelital, que son : NAVSTAR GPS (Navegation System with Time and Ranging Global Positioning) y GLONASS (Sistema Global Satelital de Navegación).

Dichos sistemas de posicionamiento global, fueron creados, con el objeto de dar soluciones a problemas militares de navegación, sin embargo se ha encontrado un amplio uso de dichos sistemas en la geodesia, abasteciendo excepcionalmente altas precisiones en la determinación de incrementos de coordenadas con un error medio cuadrático $emc = \pm 5mm + 6 ppm$, independientemente de las condiciones del medio ambiente y de la existencia de intervisibilidad entre puntos. Sin embargo aunque los dos sistemas fueron creados para solucionar la navegación militar, el más usado en la actualidad es el NAVSTAR GPS.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

I.1.- SISTEMA GLOBAL DE POSICIONAMIENTO NAVSTAR GPS.-

El sistema NAVSTAR GPS esta conformado de 21 satélites y 3 más auxiliares. Las órbitas de los SAT prácticamente son auxiliares y se encuentran a una altura de 20,180 km y a una distancia de 26,600 km al centro de la Tierra. Tanto la cantidad de satélites como la distribución de los mismos, proporcionan la recepción de señal minimamente de 4 SAT a cualquier lugar del globo terráqueo.

El sistema se divide en los siguientes segmentos:

A).- Segmento Cósmico (espacial): este segmento consiste de un conjunto de SAT que se encuentran uniformemente distribuidos en seis planos orbitales cuyos ángulos entre ellos son de 55°. El período de giro de los SAT es de 12 hrs en tiempo estelar y cada uno aparece diariamente 4 minutos antes del día anterior (Ver Fig.1).

El aspecto del se muestra en la siguiente figura(Ver Fig 2)

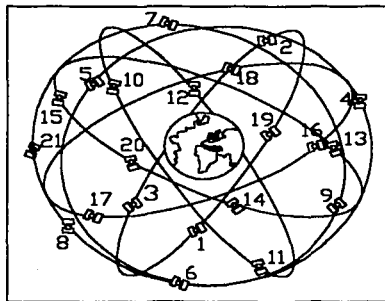


FIG.1.- Sistema NAVSTAR GPS.

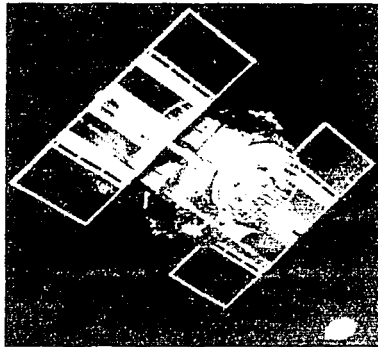


Fig. 2.- Aspecto del SAT NAVSTAR GPS.

La energía eléctrica del SAT es abastecida por 2 baterías solares que están ocupando un área de 7.2 m² cada una, cargando asimismo acumuladores para asegurar el trabajo del SAT durante su vuelo por la sombra de la Tierra; cada SAT cuenta con 2 dispositivos de frecuencia de rubidio y 2 de celcio, los cuales proporcionan la estabilidad de los relojes del SAT en los límites de $1 \cdot 10^{-12} - 1 \cdot 10^{-13}$. Cada SAT emite 2 frecuencias coherentes, con frecuencia principal de 10.23 MHz en la banda de frecuencias L:

$$L_1 = 10.23 \times 154 = 1575.42 \text{ MHz (Longitud de onda igual a 19.05 cm)}$$

$$L_2 = 10.23 \times 120 = 1227.60 \text{ MHz (Longitud de onda igual a 24.45 cm)}$$

En estas frecuencias se transmiten las señales de navegación (códigos), al igual que otra información de navegación y de vuelos.

B).- Segmento de Control (Rastreo y Dirección). Este segmento tiene dos funciones fundamentales: la constante observación y control de todos los SAT del sistema; la formación de sistemas de tiempo GPS, la determinación de las efemérides y las correcciones a los relojes de los SAT; el procesamiento periódico de la información que tiene en la memoria la computadora que va a bordo de los SAT.

Dentro de este segmento se encuentra también la estación espacial de control que se encuentra en las cercanías de Colorado Spring; estaciones de observación y seguimiento a los SAT y antenas en la Tierra para transmitir la información a ellos. Todas las estaciones de control, seguimiento y antenas se distribuyen a lo largo del ecuador (Fig. 3).

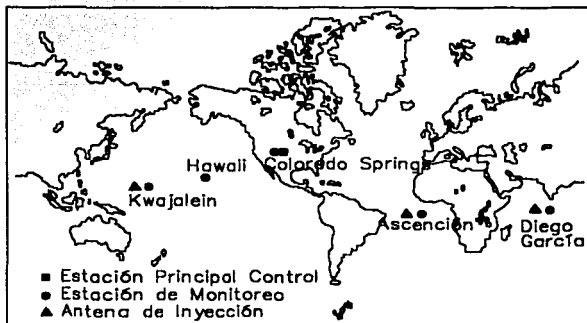


FIG 3.-Red de control del NAVSTAR GPS.

C).- Segmento Usuario. Todos los usuarios civiles y militares que emplean el sistema de posicionamiento y de esta manera, obtener la posición de puntos fijos sobre la superficie terrestre o para obtener la posición de los vehículos en movimiento; etc. Los que cada SAT tenga al menos tres sesiones diarias de enlace con el sistema de seguimiento (Fig. 4).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

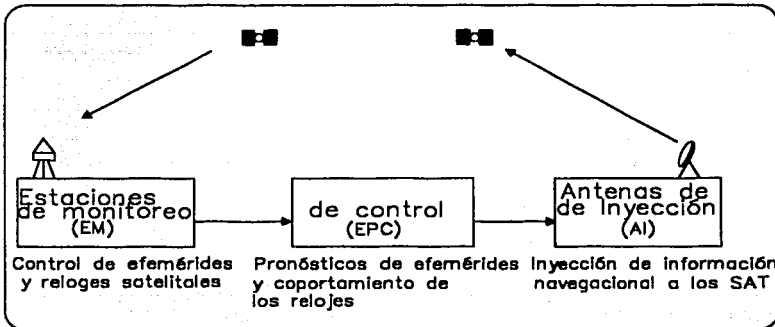


FIG 4.- Esquema de recepción y renovación de información del NAVSTAR GPS.

I.2.- SISTEMAS DE COORDENADAS.-

Para definir un sistema de coordenadas, debemos especificar:

- La localización del origen.
- La orientación de los tres ejes.
- Los parámetros (cartesianos, curvilíneos) que definen la posición de un punto referido al Sistema de Coordenadas.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

La tierra tiene dos movimientos periódicos diferentes en el espacio: gira sobre su eje y se traslada alrededor del sol (Fig5). Existe también un satélite natural (La luna) y muchos satélites artificiales los cuales tienen un tercer movimiento periódico en el espacio: El movimiento orbital alrededor de la Tierra. Estos movimientos periódicos son fundamentales para la definición de los Sistemas de coordenadas y de Tiempo.

Los Sistemas de coordenadas terrestres están fijos a la tierra y giran con ella. Son usados para definir las coordenadas de puntos sobre la superficie de la tierra. Hay dos clases de Sistemas terrestres llamados sistemas egocéntricos y Sistemas topocéntricos. (Fig6).

Los sistemas de coordenadas Celestes no se trasladan pero pueden girar junto con la tierra. Son usados para definir las coordenadas de cuerpos celestes tales como las estrellas. Hay cuatro sistemas celestes diferentes, llamados "Eclíptico", "de Ascensión Recta", "de Ángulo Horario" y "Sistema de Horizonte".

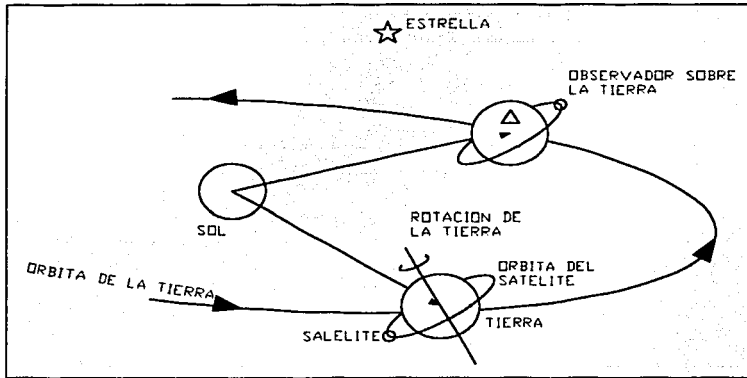


FIG 5.- Sistema de Coordenadas Terrestres, Celestes y Orbitales.

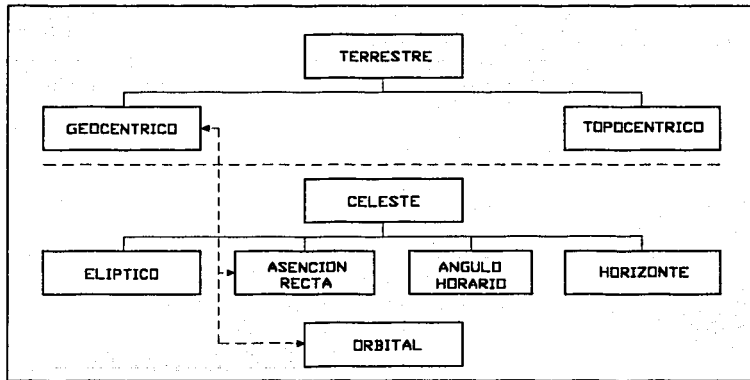


FIG 6.- Tipos de Sistemas de Coordenadas.

El Sistema Orbital no gira con la tierra pero se traslado con ella. Es usado para definir las coordenadas de satélites que orbitan alrededor de la Tierra.

La Geodesia es el estudio de la forma y el tamaño de la tierra y la determinación de las coordenadas de puntos sobre o encima de la superficie de la tierra.

1.2.1.- Sistema Topocéntrico de Coordenadas Terrestres.-

Los sistemas topocéntricos terrestres están definidos como sigue:

- a) El origen están en un punto cercano a la superficie de la tierra.
- b) El plano primario es el plano tangencial a la superficie de la tierra en ese punto.
- c) El eje primario es el punto norte (la intersección entre el plano tangencial y el plano que contiene al polo norte rotacional de la tierra.
- d) Los sistemas son de mano izquierda.

Entonces se definen dos clases de sistemas de coordenadas topocéntricas terrestres:

- 1.- *Sistema Astronómico Local* : es el sistema en el cual el polo primario es la normal a la superficie equipotencial de la tierra ("superficie de la

"Tierra", superficie física de la tierra o superficie de un elipsoide de referencia).

2.- *Sistema Geodésico Local* : es el sistema en el cual el polo primario es normal al elipsoide que pasa a través de la estación de observación.

1.2.2.- Sistema Geocéntrico de Coordenadas Terrestres.-

Los sistemas topocéntricos terrestres están definidos como sigue:

- a) El origen está cerca del centro de la tierra.
- b) El polo primario está alineado con el eje de rotación de la tierra y el plano primario perpendicular a este polo es llamado el plano ecuatorial.
- c) El eje primario es la intersección entre el plano primario (plano ecuatorial) y el plano que contiene al meridiano de Greenwich.
- d) Los sistemas son de mano derecha.

1.23.- Transformación de Coordenadas.-

A continuación se definen cinco sistemas de coordenadas terrestres específicas:

- a) Terrestre promedio (T.P.)
- b) Terrestre Instantáneo (T.L.)
- c) Geodésico (G)
- d) Astronómico Local (A.L.)
- e) Geodésico Local (G.L.)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

De los cuales los 3 primeros son geocéntricos y los dos últimos son topocéntricos. Observemos la Tabla 1, la cual sintetiza los planos, polos y ejes que definen esos sistemas.

SISTEMA	POLOS DE REFERENCIA		PLANOS DE REFERENCIA		SISTEMA DE MANO
	PRIMARIO (Eje Z)	SECUNDARIO (Eje X)	PRIMARIO (Perpendicular al polo primario)	SECUNDARIO	
Terrestre Promedio	Polo terrestre promedio (OIC)	Intersección entre los planos primarios y secundarios	Ecuador terrestre promedio que contiene al centro de gravedad.	Meridiano Medio de Greenwich	Derecha
Terrestre Instantáneo	Polo terrestre instantáneo	Intersección entre los planos primarios y secundarios	Ecuador terrestre instantáneo.	Meridiano Medio de Greenwich	Derecha
Geodésico	Semi eje menor (paralelo al eje terrestre)	Intersección entre los planos primarios y secundarios	Paralelo al ecuador terrestre promedio.	Paralelo al meridiano medio de Greenwich	Derecha
Astronómico Local.	Vertical de la gravedad en la estación	Intersección entre los planos primarios y secundarios	Horizonte Local.	Meridiano Astronómico de la estación	Izquierda
Geodésico Local	Normal Elipsoidal en la estación	Intersección entre los planos primarios y secundarios	Plano tangente.	Coincidente con el meridiano geodésico de la estación	Izquierda

TABLA 1.- Polos de Referencia, Planos y Ejes que definen a los Sistemas de Coordenadas Terrestres.

Ahora tenemos definidas, precisamente cuatro clases de coordenadas que a continuación se mencionan:

- a) Cartesianas (X, Y, Z) usadas en todos los sistemas.
- b) Curvilíneas (ϕ, λ, h) usadas en el sistema Geodésico.
- c) Curvilíneas (V, Δ, r) usadas en el sistema Astronómico Local.
- d) Curvilíneas (a, α, r) usadas en el sistema Geodésico Local.

Entonces una vez definidas las transformaciones principales entre estos sistemas de coordenadas y coordenada. La Tabla 2 muestra una lista de los números de ecuaciones que definen estas transformaciones las cuales se muestran en la Tabla 3.

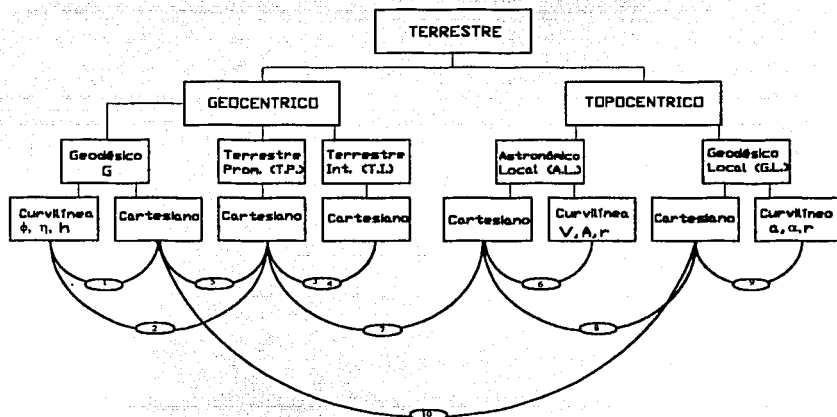


TABLA 2.- Ecuaciones que relacionan a los Sistemas Terrestres.

No.	ECUACIONES
1	$\bar{\eta} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (N+h)\cos\varphi\cos\lambda \\ (N+h)\cos\varphi\text{sen}\lambda \\ \left(\frac{Nb^2}{a^2}+h\right)\text{sen}\varphi \end{bmatrix}$
2	$(\bar{r})_{r,p} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{r,p} = \begin{bmatrix} x_p \\ y_p \\ z_p \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} (N+h)\cos\varphi\cos\lambda \\ (N+h)\cos\varphi\text{sen}\lambda \\ \left(\frac{Nb^2}{a^2}+h\right)\text{sen}\varphi \end{bmatrix}$
3	$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{r,p} = R_2(-x_p) \quad R_1(-y_p) \quad \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{r,i}$
4	$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{r,i} = R_1(y_p) \quad R_2(x_p) \quad \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{r,p}$
5	$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{r,p} = \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_0$
6	$(\bar{r}_M)_{A,L} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{A,L} = r_M \begin{bmatrix} \cos V_M \cos A_M \\ \cos V_M \text{sen} A_M \\ \text{sen} V_M \end{bmatrix}$
7	$(\bar{r}_M)_{r,p} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{r,p} = R_3(180^\circ - \lambda_k) \quad R_1(90^\circ - \Phi_k) \quad P_2 \quad \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{r,i}$
8	$(\bar{r}_M)_{G,L} = R_3(A - \alpha) \quad R_2(-\xi) \quad P_2 \quad R_1(\eta) (\bar{r}_M)_{A,L}$
9	$(\bar{r}_M)_{G,L} = \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{G,L} = \bar{r}_M \begin{bmatrix} \cos a_M \cos a_M \\ \cos a_M \text{sen} a_M \\ \text{sen} a_M \end{bmatrix}$
10	$(\bar{r}_M)_G = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_G = R_3(180^\circ - \lambda_k) \quad R_2(90^\circ - \varphi_k) \quad P_2 \quad \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{G,L}$

		SISTEMA ORIGINAL			ASTRONÓMICO LOCAL	GEODÉSICO LOCAL
		TERRESTRE PROMEDIO	TERRESTRE INSTANTANEO	GEODÉSICO		
S I S T E M A F I N A L	Terrestre Promedio	$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{T,P}$	$R_2(-X_\rho)R_1(-Y_\rho)$	$+ \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix}$	$R_3(180^\circ - \Lambda)R_2(90^\circ - \Phi)P_2$	Vía Geodésica
	Terrestre Instantáneo	$R_1(Y_\rho)R_2(X_\rho)$	$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{T,I}$	Vía terrestre promedio	Vía Terrestre promedio	Vía Geodésica
	Geodésico	$- \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix}$	Vía terrestre promedio	$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_G$	Vía Geodésico Local	$R_3(180^\circ - \lambda)R_2(90^\circ - \varphi)P_2$
	Astronómico Local	$P_2R_2(\Phi - 90^\circ)R_3(\Lambda - 180^\circ)$	Vía terrestre promedio	Vía Geodésico Local	$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{A,L}$	$R_2(+\xi)R_1(+\eta)$
	Geodésico Local	Vía Geodésica	Vía terrestre promedio	$P_2R_2(\varphi - 90^\circ)R_3(\lambda - 180^\circ)$	$R_1(-\eta)$ $R_2(-\xi)$	$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{G,L}$

TABLA 3.- Transformaciones entre los Sistemas de Coordenadas.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

I.3.- SISTEMA GEODÉSICO DE REFERENCIA WGS 84.-

El marco de referencia o datum¹ WGS 84, fue desarrollado por los Estados Unidos de América para el cálculo de las órbitas satelitales, tanto en el Sistema de Satélites de Navegación (NNSS -Navy Navigation Satellite System- o Sistema TRANSIT), como para el nuevo Sistema GPS NAVSTAR.

Los parámetros que definen el WGS84 son los siguientes:

- a) El semieje mayor del Elipsoide

$$(6378137 \text{ m})$$

- b) La velocidad angular terrestre

$$(7292115 \times 10^{-11} \text{ rad/seg})$$

- c) La constante gravitacional newtoniana

$$(3986005 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{seg}^2)$$

- d) El coeficiente zonal armónico normalizado, que también representa el achatamiento terrestre sobre el campo gravitacional.

$$(-484.16685 \times 10^{-6})$$

En consecuencia, el WGS84 está también definido dinámicamente, con el centro de masa terrestre coincidente con el centro geométrico del elipsoide, y es tridimensional.

¹**Datum:** es un modelo matemático de la Tierra diseñado para abarcar parte o todo el geode (figura equipotencial gravitacional que más se aproxima al nivel medio del mar; es una figura irregular similar al elipsoide). Entonces se define por la relación entre el elipsoide y un punto de la superficie topográfica establecido como el origen del datum.; generalmente se conoce como datum geodésico.

CAPITULO II.-

Selección de los Vértices

II.-PLANEACIÓN DE LA MISIÓN CON GPS.-

Como en todo proyecto la planeación es importante ya que nos proporciona la información fundamental de las actividades a seguir, así como los recursos necesarios y nos da a conocer los tiempos que durará cada actividad dentro del proyecto. Este se describe con precisión más adelante. Donde se expondrá lo objetivos, las estrategias, las acciones y tiempos del proyecto.

El personal académico responsable del proyecto (posicionamientos GPS con las compañías INEGI y LEICA) :

Profesores:

- Ing. Víctor Robles Almeraya.
- Ing. Rayumdo Arvizu Díaz.
- Ing. Adolfo Reyes Pizano.
- Ing. Víctor Mozo y Tenorio.

Alumnos:

- Patricia Gutiérrez Arredondo.
- David Roger.
- Omar Nava Bravo.
- Felipe Martínez.
- Eric Colombo.

II.1- PLANEACIÓN, METAS, ESTRATEGIAS Y TIEMPOS.-

La identificación de los objetivos o metas del proyecto, fue primordial para llevar a cabo cada uno de los posicionamientos GPS. Una vez establecidos estos, se formularon las estrategias o procedimientos, como políticas a seguir y como consecuencia las acciones realizadas durante las practicas con aparatos GPS:

La planeación se llevo a cabo de la siguiente manera:

Los objetivos principales en el desarrollo del posicionamiento geodésico fueron:

- a) Apoyar la realización de proyectos de investigación patrocinados por la iniciativa privada y el sector público.
- b) Promover la participación de profesores y alumnos en proyectos que puedan ser utilizados por los alumnos en sus trabajos escritos terminales.
- c) Dar el apoyo académico a los Departamentos de Topografía, Fotogrametría y Geodesia, mediante sesiones prácticas en las que se complementan los conceptos teóricos expuestos frente al grupo.
- d) Promover la realización de las prácticas utilizando tecnología de punta, como complemento de la teoría vista en clase.
- e) El establecimiento de una red geodésica de calibración, dentro del campus universitario de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Dentro de la planeación se tomaron en cuenta los tiempos de duración de actividad.

Para ello se elaboró un "Plan de trabajo" o "Itinerario":

POSICIONAMIENTO: L E I C A

HORA	ACTIVIDADES
08:30 - 08:45	Cita en el lugar de Partida: Estacionamiento Edificio Principal de la FI. Distribución del equipo a cada Brigada.
08:45	Distribución de las 3 Brigadas a cada vértice: Brigada 1: traslado al vértice base ubicado en la azotea del edificio principal de la FI. Brigada 2: traslado al primer vértice dentro del campus universitario. Brigada 3: traslado a la Universidad Autónoma Chapingo.
09:00	Brigadas 1 y 2: inicio de la primera sesión.
09:00 - 15:00	Brigada 2: recorre y registrar los datos en diferentes puntos en el campus universitario.
10:15 - 11:15	Brigada 3: instalación del equipo e inicio de la sesión y registro de datos.
11:15 - 12:30	Brigada 3: fin de la sesión y traslado al cerro del Peñón.
12:30 - 13:30	Brigada 3: instalación del equipo e inicio y registro de datos en el cerro del Peñón.
13:30 - 15:00	Brigada 3: fin de la sesión y traslado a CU.
15:00	Brigadas 1 y 2: Finalizan la sesión.
15:00 - 16:00	Comida.
16:00 - 17:00	Postproceso en el laboratorio de geomática.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

POSICIONAMIENTO: I N E G I

HORA	ACTIVIDADES
08:30 - 08:40	Cita en el lugar de Partida: Estacionamiento Edificio Principal de la FI. Distribución del equipo a cada Brigada.
08:40 - 08:50	Distribución de las 3 Brigadas a cada vértice. Brigada 1: traslado al vértice base ubicado en la azotea del edificio principal de la FI. Brigada 2 y 3: traslado a los primer primeros vértices dentro del campus universitario.
08:50 - 10:00	inicio de sesión y registro de datos: Triángulo No.1: FI, 9estadio2 y 10medicina Linea Base: FI - 9estadio2.
10:00 - 10:20:00	Transporte y montaje de equipo.
10:20 - 11:30	inicio de sesión y registro de datos: Triángulo No.2: FI, 9estadio2 y Fronton el punto que esta en medicina se va a frontones al terminar la sesión.
11:30 - 11:45	Transporte y montaje de equipo.
11:45 - 13:00	inicio de sesión y registro de datos: Triángulo No.3: FI, Jardín Botánico, Dalias el punto que esta en Frontones se va a Dalias.
13:00 - 13:20	Transporte y montaje de equipo.
13:20 - 14:30	inicio de sesión y registro de datos: Triángulo No.4: Bestadio1, FI, Universum el punto que esta en Jardín Botánico se va a Bestadio1.
14:30 - 14:45	Transporte y montaje de equipo.
14:45 - 15:45	Triángulo No.5: Dalias, Medicina, FI el punto que esta en Uvisersum se va a Dalias, el punto que esta en Bestadio1 se va a Medicina.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

II.2.- RECURSOS.-

Los *Recursos* fueron parte fundamental en los posicionamientos, ya que cada uno de ellos jugo un papel importante para una optima planeación y de esta manera garantizar que los posicionamientos GPS realizados, fueron hechos con todos los recursos requeridos para obtener excelentes resultados.

A continuación se muestra una tabla con los recursos utilizados en cada practica con las diferentes empresas que formaron parte de esta actividad académica

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

	LEICA	INEGI	UNAM
RECURSOS	3 Receptores Leica GPS 520 con accesorios: antena, fuente de poder, controlador, radio MODEM	3 receptores Ashtech con accesorios: antenas, fuente de poder, controlador,	2 Vehículos tipo Van
	Software SKI PRO	Software GEOLAB	Laboratorio de Geomática
	Computadora Laptop	Computadora PC desk	

III.3.- ACCIONES.-

Donde tenemos las condiciones o limitaciones bajo las cuales trabajamos, así como todas aquellas actividades que se llevaron a cabo. A continuación se describen:

➤ LEICA:

La planeación, el posicionamiento y el post-proceso se realizaron el mismo día (25 de Octubre de 2001):

- PLANEACIÓN y PRACTICA DE CAMPO: distribuyeron las bragadas, ya que estas se dividieron en 3. La primera Brigada GPS se quedó a cargo del vértice de control, que está ubicado en la azotea del edificio "B" de la Facultad de Ingeniería. La segunda Brigada GPS se quedó a cargo del posicionamiento de todos los vértices geodésicos dentro del campus universitario. Y la tercera Brigada GPS fue la encargada del posicionamiento de los vértices geodésicos en la Universidad de Chapingo. Cabe aclarar que los resultados obtenidos de la Universidad de Chapingo no fueron utilizados para efectos de esta tesis
- POST-PROCESO: al terminar los posicionamientos, se realizaron los post-procesos, ese mismo día, quedando ajustadas las coordenadas. Los resultados y el proceso en gabinete para el ajuste de coordenadas (Post-proceso); se mostrarán más adelante en los siguientes capítulos.

➤ **INEGI:**

EL posicionamiento GPS fue dividido en tres sesiones consecutivas, divididas en tres sábados, estos fueron:

- **PLANEACIÓN:** (10 de noviembre de 2001) se realizó la planeación de cada una de las actividades que se iban a realizar, por ejemplo: la organización de la gente en 3 brigadas GPS, la selección y ubicación de los vértices GPS a posicionar, la elección de las rutas más rápidas para llegar a dichos vértices GPS, cual fue de gran ayuda para obtener los tiempos más cortos; determinar tiempos de traslado, de posicionamiento, de post-proceso, de comidas, etc.

Los puntos seleccionados fueron:

- | | |
|----------------------------|---|
| 1.- Facultad de Ingeniería | 6.- Universum |
| 2.- Estadio2 | 7.- Unidad de seminarios
(Jardín Botánico) |
| 3.- Estadio1 | 8.- Dalias |
| 4.- Medicina | 9.- Instituto de Geofísica |
| 5.- Frontón | |

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- PRACTICA DE CAMPO: (17 de noviembre de 2001) el posicionamiento comenzó a las 10:00 a.m., tuvimos retraso con respecto al itinerario; una de las brigadas quedó a cargo del vértice GPS control, el cual está ubicado en la azotea del edificio "B" de la FI. Las dos brigadas GPS restantes nos marchamos a hacer el recorrido dentro del campus, a cada uno de los vértices ya mencionados con anterioridad. Como fue un posicionamiento estático, los tiempos de posicionamiento en cada vértice fueron de 1hr y los tiempos de traslado a cada tiempo junto con la colocación de aparato fueron de 15 min. La practica termino hasta tarde.

Y el post-proceso

- POST-PROCESO: (14 de noviembre de 2001) el post-proceso consistió en hacer el ajuste de las coordenadas obtenidas en campo a través del receptor GPS. Las coordenadas que almacena el receptor GPS durante el tiempo de trabajo, son coordenadas crudas, que necesitan ser ajustadas con un software específico, según la marca del aparato, para que se obtenga mayor precisión del de las coordenadas.

Durante la esta practica tuvimos retrasos y cambios de vértices a posicionar; el vértice que se encuentra en el Jardín Botánico, sufrió retraso de 30 minutos, con respecto al itinerario, pues el permiso que se hizo a la oficina respectiva, no era valido. Así que tuvimos en ese momento elaborar otro permiso dirigido a los

CAPÍTULO II.- Selección de los Vértices.

responsables de guarda del Lugar para poder entrar a la Unidad de Seminarios y posicionar el vértice geodésico. EL post-proceso duro hasta las 18:00 hrs. de ese día. Los resultados y el proceso en gabinete para el ajuste de coordenadas (Post-proceso); se mostrarán más adelante en los siguientes capítulos.

CAPITULO III.-

Posicionamiento de los Vértices

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

III.- POSICIONAMIENTO GPS.-

Este capítulo nos proporcionará, información a cerca de los posicionamientos geodésicos que se llevaron a cabo dentro del campus universitario de la Universidad Nacional Autónoma de México; ya que se presentarán los métodos matemáticos desarrollados (método de mínimos cuadrados) para obtener la red geodésica del campus universitario.

También se mencionara el equipo utilizado para el posicionamiento de los vértices, y se describirá la forma en que se llevan a cabo los post-procesos para la obtención de coordenadas GPS ajustadas.

Los resultados que se proporcionen serán las coordenadas de los vértices geodésicos ajustadas después del post-proceso.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

III.1.-OBJETIVO.-

Del levantamiento topográfico de una poligonal de apoyo que comprende el circuito universitario, se derivó la "Red Geodésica del Campus de Ciudad Universitaria"; la cual tiene como principal objetivo principal, establecer la red geodésica de calibración dentro del campus universitario, aplicando el método de mínimos cuadrados. De tal manera que, al llevar a cabo el ajuste de la poligonal topográfica, se obtenga la red geodésica en donde las coordenadas geodésicas de los puntos que pertenecen a la poligonal topográfica, se transformen en topocéntricas y así se consideren fijas en el cálculo de ajustes, llamando a estas coordenadas cuasiobservables.

Al obtener la red geodésica ajustada, se pretende promover proyectos subsecuentes, ya sean de carácter académico y de investigación, así como también sirva de apoyo en la realización de practicas académicas en las áreas de topografía, fotogrametría y geodesia principalmente, utilizando tecnología de punta.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

III.2.- EQUIPO.-

Características del Receptor LEICA.-

- Receptor Geodésico de doble frecuencia Leica SR530
- Para Tiempo Real Cinemático (RTK).
- Software: Programa SKI-Pro Profesional de Trabajo.
- Sistema 500.

El SR530 es un receptor con 24 canales (Fig. 7), de doble frecuencia, con la mayor precisión y RTK integrado.

El rastreo independiente de L1 y L2 asegura la obtención de datos precisos, obtenidos con mediciones de código de alta precisión y fase portadora de onda completa. Si el código P se encuentra disponible, el SR530 rastrea en forma convencional. Pero si está encriptado, el receptor cambia automáticamente a la técnica patentada de <<Código P auxiliar>>, la cual ofrece una ventaja decisiva de 13db comparada con la técnica de correlación cruzada. Con AS activado o desactivado, siempre se obtienen mediciones de código y de fase portadora de onda completa de gran precisión.

- **L1:** Fase portadora de onda completa, código C/A con técnica de correlación estrecha y código de precisión.
- **L2:** Fase portadora de onda completa, código P o código P auxiliar bajo AS.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Este receptor tiene un sistema modular, que permite una recepción móvil en tiempo real, parar y seguir y cinemático.

En este caso, la practica, fue en tiempo real y en post-proceso, utilizándose un sistema modular : Bastón y mini mochila.

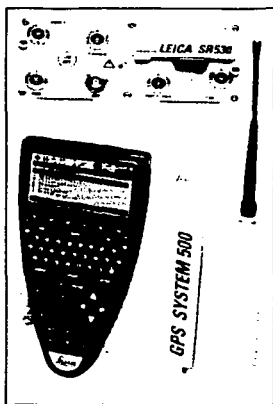


Fig. 7.- Receptor Geodésico Leica SR530 para Tiempo Real 12L1 + 12L2, Código C/A, Código P, RTK.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Mini mochila con el SR530, batería insertable, radio MODEM y antena de radio:

- Peso total sobre su espalda: 3.7 Kg, (Fig. 8a y Fig.8b).



Fig. 8a.- Equipo GPS completo.



Fig. 8b.- Mini Mochila con el SR530.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- **Bastón** con terminal y antena de radio.
 - 1.7 kg con bastón de fibra de carbón o
 - 1.95 kg con bastón de aluminio, (Fig.9).

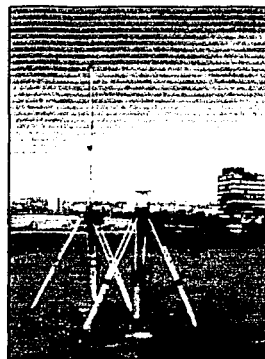


Fig. 9.- Bastón con terminal y antena de radio a la Izq.

Tarjeta Flash: tarjeta PCMCIA ATA Flash es la memoria que almacena la información en el momento de la recepción, la tarjeta puede tener capacidad de 4Mb, 10Mb y 85Mb, (Fig.10a y 10b).

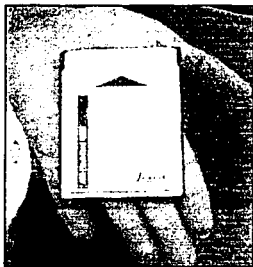


Fig.10a.- Tarjeta Flash parte frontal.



Fig. 10b.- Tarjeta Flash parte trasera.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

■ Características del Receptor ASTETCH P-ZXII.-

- Receptor Geodésico de doble frecuencia ASTETCH P-ZXII.
- Para Post-proceso.
- Software: Geo – Lab.

El receptor GPS P-XII o ZXII es de doble frecuencia ya que tiene la capacidad de registrar la información emitida por los satélites de la constelación NAVSTAR y después llevar a cabo el post-proceso con el software Geo-Lab.

El Receptor ASTEC (serie P-ZXII o P-XII) cuenta, para llevar a cabo los posicionamientos con:

- 1.- Antena P-ZXII
- 2.- Pinula para adaptador rotativo
- 3.- Adaptador rotativo
- 4.- Base nivelante
- 5.- Tripie
- 6.- Extensión
- 7.- Antena receptor
- 8.- Baterías power disk
- 9.- Adaptador de botón
- 10.- Pinula para adaptador de botón

11.- Receptor GPS P-XII o P-ZXII.

En las Figura 11 y en la Figura 12 se puede observar claramente cada uno de los componentes del GPS ASTEC:



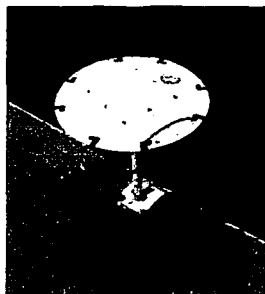


Fig. 11.- Equipo P-XII o ZXII.

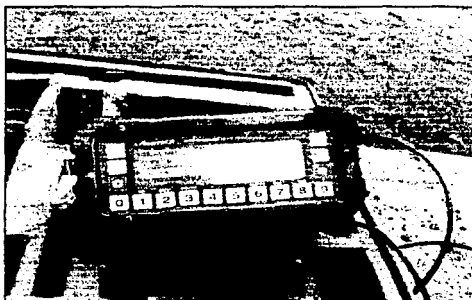


Fig.12.- Receptor GPS P-XII o ZXII

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

III.3.- METODOLOGÍA.-

En los posicionamientos GPS utilizamos el método *Estático*, en *tiempo real* y en *post-proceso*, que a continuación se describen:

➤ **Método Estático:** es llamado método estático por que los receptores permanecen posicionados en los vértices a medir por tiempos prolongados en sesiones que van desde los 15 minutos hasta sesiones de varias horas, según la distancia de la línea por medir. Es un método lento pero es el que da mayor precisión

- **Tiempo Real:** una vez posicionados en un vértice, el tiempo real permite conocer las coordenadas de dicho vértice, con solo cumplir con las condiciones mínimas de posicionamiento GPS tanto del PDOP como del número de satélites o esperar 5 minutos para obtener las coordenadas automáticamente.
- **Post – Proceso:** consiste en realizar el post-proceso de ajuste de las coordenadas crudas que recolecta el receptor GPS, recalculando y ajustando, obteniendo nuevas coordenadas llamadas ajustadas.
Esto se realiza a través de un software dependiendo del tipo de receptor que se tenga.

III.4.- POST-PROCESO.-

Una vez completado el posicionamiento en campo y con los datos almacenados en el receptor GPS, se realiza el *post-proceso*; que consiste en bajar los datos crudos del receptor GPS, a la computadora para poder hacer el ajuste de los datos, a través de un software específico.

Para procesar los datos de LEICA, se utilizo el software *SKI-PRO*, para el post-proceso de los datos de INEGI, se utilizo el software *GEO-LAB*.

El *post-proceso* se lleva a cabo de la siguiente manera:

1. Conectar el receptor GPS o colector de datos a la computadora para poder transferir los datos crudos.
2. Abrir el software a utilizar para poder dar la orden de transferencia de datos crudos
3. Establecer tanto en el colector de datos como en la computador la orden de transferencia de datos crudos y presionar la tecla de "enter" para empezar a transferir datos crudos.
4. Una vez transferidos todos los datos crudos a la computadora, en esta se establecen parámetros como:

4.a. Dar coordenadas de los puntos de control² que se utilizaron.

²**Punto de control:** es aquel punto de precisión donde son conocidas sus coordenadas (x,y) en proyección UTM y el cual fue posicionado con anterioridad .

- 4.b. Si es que se requiere cambiar de *proyección cartográfica*³, y *datum geodésico*⁴ si es que se requiere. Por lo regular se trabaja con el *datum geodésico WGS 84* y en la *proyección cartográfica UTM*.
5. Entonces se le indica al software que haga el “*post-proceso*” con la tecla “*procesar Línea Base*”⁵
6. Una vez procesadas las líneas bases, se revisan los informes que nos proporciona el software para ver que línea sirvió y que vértices están en rango o no. Esto depende de la posición del vértice en campo, que existan obstrucciones, del número de satélites en el momento del posicionamiento y del PDOP que no sea demasiado alto (1.8 – 4.00 se considera buen PDOP).
7. Se revisan coordenadas, la grafica *Jl* (campana de Gauss, estadística) ya que se trata de un ajuste por mínimos cuadrados, la base con la que trabaja el software.
8. Finalmente se obtienen los reportes con las coordenadas ajustadas que ahora son llamados “*datos ajustados*” y no crudos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

³**Proyección Cartográfica:** expresión matemática rigurosa de la superficie curva del elipsoide en una cuadrícula de coordenadas rectangular.

⁴**Datum geodésico:** modelo matemático diseñada para adaptarlo a todo el geolde o parte del mismo. Se define por la relación entre un elipsoide y un punto en la superficie topográfica establecido como el origen de un datum.

⁵**Línea Base:** posición de un punto relativa a otro punto. En topografía GPS es la posición de un receptor relativa a otro. Cuando se combinan los datos de estos dos receptores, se obtiene una línea base constituida por un vector tridimensional entre las dos estaciones.

Para llevar a cabo el post-proceso se requirió de lo siguiente:

EQUIPO DE COMPUTO Y SOFTWARE		
No.	Cantidad	Descripción
1.-	1	Computadora Pentium III a 128, 20GHz
2.-	1	Cable paralelo
3.-	1	Receptor gps
4.-	1	Software SKI-PRO
5.-	1	Impresora

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

III.5.- RESULTADOS.-

Al finalizar el “post-proceso” de un posicionamiento, la computadora nos proporciona el informe del post-proceso donde aparecen los resultados del ajuste así como los resultados obtenidos del posicionamiento (coordenadas). Dichas coordenadas son las ajustadas de los vértices que fueron posicionados con GPS las cuales aparecen en el reporte final. El reporte final también nos proporciona como información adjuntos, los parámetros de transformación, el elipsoide de referencia entre los datos más importantes, etc.

A continuación se mostrarán los reportes de cada posicionamiento donde se indica, la ubicación los vértices geodésicos:

➤ **Post- Proceso LEICA: (Ski-Pro)**

Reporte de Libreta de campo GPS



Nombre del Trabajo:		Trabajo	
Hora:	Resultados en hr. local	Predeter	(GPS + -6.00 hr)
Versión TR-SKI:		3.0	
		Versión de proceso Kernel:	0.9

Punto de Referencia

Id de punto:	FI		
Coordenadas WGS84		mLatitud:	19 ° 19 ' 51.81676 "
X: -961400.812		mLongitud:	99 ° 11 ' 6.19156 "
Y: -5945695.203		mAltura:	2294.008
Z: 2098724.028			
Coordenadas de Cuadrícula:			
Este: -	m		N
Norte: -	m		W
Altura: -	m		m
Lectura de altura:	1.243 m	Offset de anten	0.360 m

Resultados de línea base

Id de punto:	1 Dallas TR	Fecha/Hora:	10/25/2001 10:31:15
Calidad de coordenadas:	0.024	Tipo de operación:	Static

Coordenadas WGS84	e.m.c.	Componentes de línea base:	
Latitud: 19 ° 18 ' 46.96891 "	N 0.006	mdLatitud:	-1994.7707 m
Longitud: 99 ° 10 ' 19.51242 " W	0.007 m	dLongitud:	1363.0262 m
Alt. Elipsoida	2288.2783 m	dAlt:	-5.2708 m
Distancia Inclinada:	2415.9850 m		

Lectura de altura:	2.0000 m	Offset de antena:	0.0000 m
Id de punto:	1 Dalla TR-2	Fecha/Hora:	10/25/2001 11:00:50
Calidad de coordenadas:	0.030	Tipo de operación:	Static

Coordenadas WGS84	e.m.c.	Componentes de línea base:	
Latitud: 19 ° 18 ' 46.96891 "	N 0.007	mdLatitud:	-1994.7696 m
Longitud: 99 ° 10 ' 19.51239 " W	0.008 m	dLongitud:	1363.0293 m
Alt. Elipsoida	2288.2793 m	dAlt:	-5.2698 m
Distancia Inclinada:	2415.9848 m		

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

CAPITULO III.-Posicionamiento de los Vértices.

<p> Lectura de altura: 2.0000 m Id de punto: 3 Insurgentes TR Calidad de coordenadas: 0.023 Coordenadas WGS84 </p>	<p> Offset de antena: 0.0000 m Fecha/Hora: 10/25/2001 11:54:36 Tipo de operación: Static </p>
<p> e.m.c. Componentes de línea base: </p>	
<p> Latitud: 19 ° 18 ' 39.13089 " N 0.010 Longitud: 99 ° 11 ' 12.26438 " W 0.007 m Alt. Elipsoidal: 2309.0811 m 0.020 m Distancia inclinada: 2242.8917 m 0.010 m </p>	<p> mdLatitud: -2235.8175 m dLongitud: -177.3262 m dAlt: 15.4493 m </p>
<p> Lectura de altura: 2.0000 m Id de punto: 4 EE TR Calidad de coordenadas: 0.015 Coordenadas WGS84 </p>	<p> Offset de antena: 0.0000 m Fecha/Hora: 10/25/2001 12:51:50 Tipo de operación: Static </p>
<p> e.m.c. Componentes de línea base: </p>	
<p> Latitud: 19 ° 19 ' 3.10403 " N 0.006 Longitud: 99 ° 11 ' 10.88534 " W 0.005 m Alt. Elipsoidal: 2306.8858 m 0.012 m Distancia inclinada: 1504.1953 m 0.006 m </p>	<p> mdLatitud: -1498.4041 m dLongitud: -131.2183 m dAlt: 13.0559 m </p>
<p> Lectura de altura: 2.0000 m Id de punto: 5 C Pol TR Calidad de coordenadas: 0.016 Coordenadas WGS84 </p>	<p> Offset de antena: 0.0000 m Fecha/Hora: 10/25/2001 12:01:43 Tipo de operación: Static </p>
<p> e.m.c. Componentes de línea base: </p>	
<p> Latitud: 19 ° 19 ' 1.51383 " N 0.005 Longitud: 99 ° 10 ' 41.48448 " W 0.006 m Alt. Elipsoidal: 2292.4904 m 0.014 m Distancia inclinada: 1707.2562 m 0.005 m </p>	<p> mdLatitud: -1547.3325 m dLongitud: 721.4458 m dAlt: -1.2884 m </p>
<p> Lectura de altura: 2.0000 m Id de punto: 6 Cont TR Calidad de coordenadas: 0.037 Coordenadas WGS84 </p>	<p> Offset de antena: 0.0000 m Fecha/Hora: 10/25/2001 13:45:20 Tipo de operación: Static </p>
<p> e.m.c. Componentes de línea base: </p>	
<p> Latitud: 19 ° 19 ' 24.78481 " N 0.008 Longitud: 99 ° 10 ' 58.79815 " W 0.011 m Alt. Elipsoidal: 2288.2820 m 0.034 m Distancia inclinada: 859.6875 m 0.008 m </p>	<p> mdLatitud: -832.1197 m dLongitud: 215.8870 m dAlt: -5.6879 m </p>
<p> Lectura de altura: 2.0000 m Id de punto: 9 Estadio 2 TR Calidad de coordenadas: 0.019 Coordenadas WGS84 </p>	<p> Offset de antena: 0.0000 m Fecha/Hora: 10/25/2001 15:25:43 Tipo de operación: Static </p>
<p> e.m.c. Componentes de línea base: </p>	
<p> Latitud: 19 ° 20 ' 1.40946 " N 0.009 Longitud: 99 ° 11 ' 38.46819 " W 0.006 m Alt. Elipsoidal: 2291.0297 m 0.015 m Distancia inclinada: 987.5842 m 0.007 m </p>	<p> mdLatitud: 295.0473 m dLongitud: -942.4761 m dAlt: -2.9021 m </p>

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

CAPITULO III.-Posicionamiento de los Vértices.

Lectura de altura: 2.0000 m Offset de antena: 0.0000 m
 Id de punto: 9 Estadio 2 TR Fecha/Hora: 10/25/2001 15:25:54
 Calidad de coordenadas: 0.020 Tipo de operación: Static

Coordenadas WGS84 e.m.c. Componentes de línea base:
 Latitud: 19 ° 20 ' 1.40961 " N 0.010 mdLatitud: 295.0520 m
 Longitud: 99 ° 11 ' 38.46815 " W 0.007 m dLongitud: -942.4748 m
 Alt. Elipsoida 2291.0289 m 0.016 m dAlt: -2.9028 m
 Distancia Inclined: 987.5844 m 0.007 m

Lectura de altura: 2.0000 m Offset de antena: 0.0000 m
 Id de punto: Estadio Fecha/Hora: 10/25/2001 15:26:16
 Calidad de coordenadas: 0.015 Tipo de operación: Static

Coordenadas WGS84 e.m.c. Componentes de línea base:
 Latitud: 19 ° 20 ' 1.40945 " N 0.007 mdLatitud: 295.0470 m
 Longitud: 99 ° 11 ' 38.46840 " W 0.005 m dLongitud: -942.4822 m
 Alt. Elipsoida 2291.0286 m 0.012 m dAlt: -2.9031 m
 Distancia Inclined: 987.5899 m 0.005 m

Lectura de altura: 2.0000 m Offset de antena: 0.0000 m
 Id de punto: 10 Medicina Fecha/Hora: 10/25/2001 15:51:55
 Calidad de coordenadas: 0.018 Tipo de operación: Static

Coordenadas WGS84 e.m.c. Componentes de línea base:
 Latitud: 19 ° 19 ' 57.98841 " N 0.007 mdLatitud: 189.8283 m
 Longitud: 99 ° 10 ' 43.77839 " W 0.006 m dLongitud: 654.4632 m
 Alt. Elipsoida 2259.8842 m 0.016 m dAlt: -34.0876 m
 Distancia Inclined: 682.2894 m 0.006 m

Lectura de altura: 2.0000 m Offset de antena: 0.0000 m

Promedio de coordenadas y diferencias

Id de punto: 9 Estadio 2 TR

Coordenadas WGS84
 Latitud: 19 ° 20 ' 1.40953 " N
 Longitud: 99 ° 11 ' 38.46817 " W
 Alt. Elipsoida 2291.0293 m

Referencia: Fecha/Hora: dLon dLat dA
 FI 10/25/2001 15:25:43 0.0006 -0.0022 -0.0003

FI 10/25/2001 15:25:54 -0.0025 -0.0007 0.0004

**TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN**

➤ Post-Proceso INEGI: (Geo-Lab)

INEGI

GeoLab V2.6a		ITRF 92		UNAM2		UNITS: m,DMS		Page 0004	
Solution (pass 2):									
NAME	TYPE			OLD VALUE		CORRECTION		UPDATED VALUE	
DALI	ELAT	N	19 18	46.96958	0 0	0.00000	N 19 18	46.96958	
DALI	ELON	W	99 10	19.50762	0 0	0.00000	W 99 10	19.50762	
DALI	EHYT			2288.176		0.000		2288.176	
EST1	ELAT	N	19 19	58.47071	0 0	0.00000	N 19 19	58.47071	
EST1	ELON	W	99 11	41.90444	0 0	0.00000	W 99 11	41.90444	
EST1	EHYT			2295.545		0.000		2295.545	
EST2	ELAT	N	19 20	1.40917	0 0	0.00000	N 19 20	1.40917	
EST2	ELON	W	99 11	38.46346	0 0	0.00000	W 99 11	38.46346	
EST2	EHYT			2290.871		0.000		2290.871	
FRON	ELAT	N	19 19	37.18666	0 0	0.00000	N 19 19	37.18666	
FRON	ELON	W	99 11	3.65222	0 0	0.00000	W 99 11	3.65222	
FRON	EHYT			2269.431		0.000		2269.431	
GEOF	ELAT	N	19 19	37.01228	0 0	0.00000	N 19 19	37.01228	
GEOF	ELON	W	99 10	33.73230	0 0	0.00000	W 99 10	33.73230	
GEOF	EHYT			2272.777		0.000		2272.777	
MEDI	ELAT	N	19 19	57.98846	0 0	0.00000	N 19 19	57.98846	
MEDI	ELON	W	99 10	43.77430	0 0	0.00000	W 99 10	43.77430	
MEDI	EHYT			2260.045		0.000		2260.045	
SEMI	ELAT	N	19 18	53.36613	0 0	0.00000	N 19 18	53.36613	
SEMI	ELON	W	99 11	43.35725	0 0	0.00000	W 99 11	43.35725	
SEMI	EHYT			2318.684		0.000		2318.684	
UNIV	ELAT	N	19 18	36.33037	0 0	0.00000	N 19 18	36.33037	
UNIV	ELON	W	99 10	49.47273	0 0	0.00000	W 99 10	49.47273	
UNIV	EHYT			2302.529		0.000		2302.529	

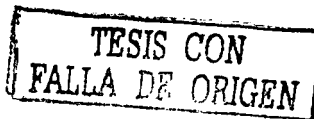
TESIS CON FALLA DE ORIGEN

=====						
UNAM2						
GeoLab V2.6a		ITRF 92	UNITS: m,DMS		Page 0005	
=====						
Adjusted NEO Coordinates:						
CODE	FFF	STATION	NORTHING STD DEV	EASTING STD DEV	O-HEIGHT STD DEV	MAPPROJ

NEO	000	9001	2135474.990 0.015	481922.143 0.015	2288.176 0.015	UTM 14
NEO	000	9002	2137675.247 0.008	479520.188 0.008	2295.545 0.008	UTM 14
NEO	000	9003	2137765.453 0.008	479620.689 0.008	2290.871 0.008	UTM 14
NEO	111	FI01	2137565.473 0.000	480650.955 0.000	2295.328 0.000	UTM 14
NEO	000	FRON	2137019.822 0.008	480635.598 0.008	2269.431 0.008	UTM 14
NEO	000	GEOF	2137013.554 0.008	481508.615 0.008	2272.777 0.008	UTM 14
NEO	000	9004	2137658.593 0.007	481216.269 0.007	2260.045 0.007	UTM 14
NEO	000	9005	2135674.194 0.013	479475.541 0.013	2318.684 0.013	UTM 14
NEO	000	9006	2135148.866 0.013	481047.388 0.013	2302.529 0.013	UTM 14

=====						
UNAM2						
GeoLab V2.6a		ITRF 92	UNITS: m,DMS		Page 0006	
=====						
Adjusted PLH Coordinates:						
CODE	FFF	STATION	LATITUDE STD DEV	LONGITUDE STD DEV	ELIP-HEIGHT STD DEV	

PLH	000	DALI	N 19 18 46.96958 0.015	W 99 10 19.50762 0.015	2288.176 0.015	
PLH	000	EST1	N 19 19 58.47071 0.008	W 99 11 41.90444 0.008	2295.545 0.008	
PLH	000	EST2	N 19 20 1.40917 0.008	W 99 11 38.46346 0.008	2290.871 0.008	
PLH	111	FI01	N 19 19 54.93958 0.000	W 99 11 3.14582 0.000	2295.328 0.000	
PLH	000	FRON	N 19 19 37.18666 0.008	W 99 11 3.65222 0.008	2269.431 0.008	
PLH	000	GEOF	N 19 19 37.01228 0.008	W 99 10 33.73230 0.008	2272.777 0.008	
PLH	000	MEDI	N 19 19 57.98846 0.007	W 99 10 43.77430 0.007	2260.045 0.007	
PLH	000	SEMI	N 19 18 53.36613 0.013	W 99 11 43.35725 0.013	2318.684 0.013	
PLH	000	UNIV	N 19 18 36.33037 0.013	W 99 10 49.47273 0.013	2302.529 0.013	



CAPITULO III.-Posicionamiento de los Vértices.

A continuación se presentarán la ubicación y descripción únicamente de los vértices geodésicos que se encuentran dentro de la red geodésica (Fig. 13):

VÉRTICE	UBICACIÓN
01	ESTADIO DE C.U. 1
02	ESTADIO DE C.U. 2
03	MEDICINA
04	EDIFICIO "B" (FACULTAD DE INGENIERÍA)

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

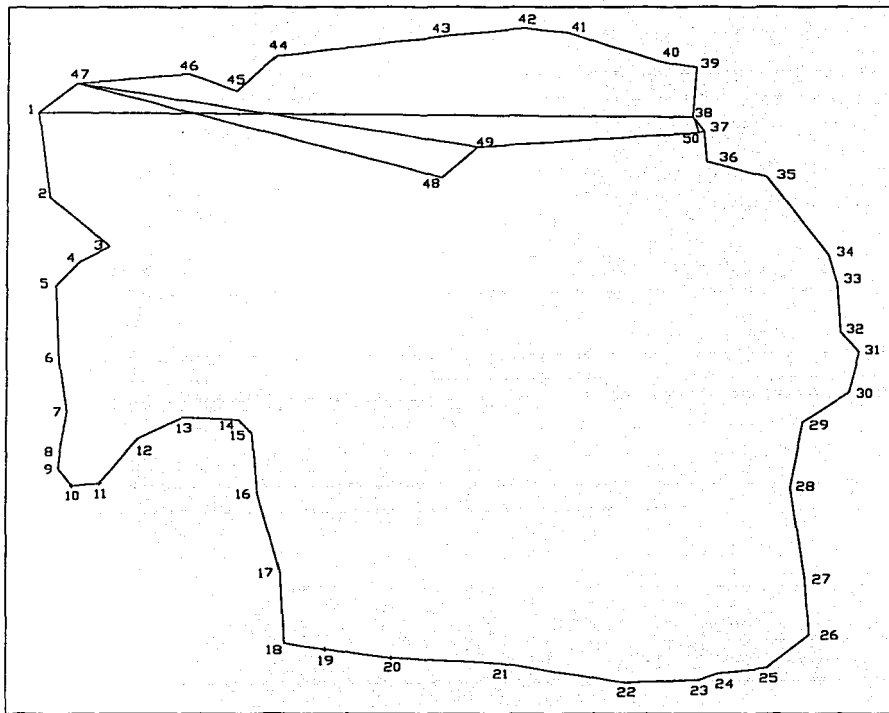


FIG. 13.- Poligonal Topográfica dentro de Ciudad Universitaria.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

① Estadio de C.U. 1



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO



FACULTAD DE INGENIERIA

RED GEODESICA - CAMPUS CIUDAD UNIVERSITARIA

PUNTO DE CONTROL: 01

SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS)

UBICACION DEL VERTICE: El vértice se encuentra ubicado en el circuito interno

Universitario, detrás del estadio olímpico de frente al centro Deportivo para trabajadores de la

UNAM. El vértice esta al lado de un poste en la curva. (Ver foto de referencia).

DESCRIPCION DEL VERTICE: EL vértice es identificable por una bala para concreto

(Hiliti), el cual se encuentra marcado con pintura naranja.

COORDENADAS:

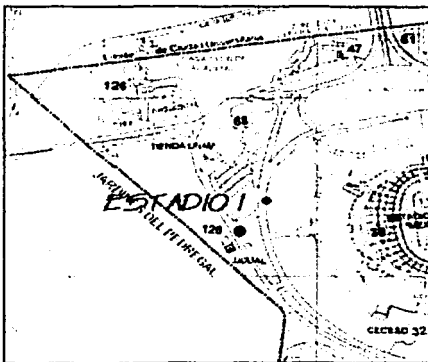
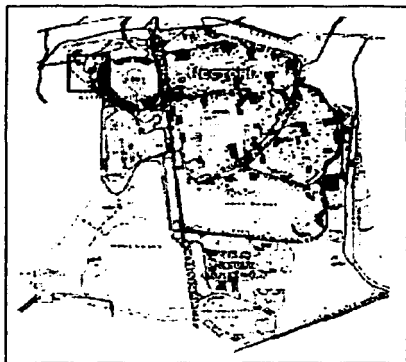
Coordenadas Geográficas (WGS84):

INEGI (ITRF-92): Lat ϕ : 19°20'58.47071" N Long λ : 99°11'41.90444" W
LEICA (WGS84): Lat ϕ : 19°19'58.47026" N Long λ : 99°11'41.90887" W

Coordenadas UTM:

INEGI (ITRF-92): E= 479620.188 N= 2137675.247
LEICA (Nad27): E= 479519.7762 N= 2137547.533

CROQUIS DE LOCALIZACION



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

② Estadio de C.U. 2



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO



FACULTAD DE INGENIERIA

RED GEODESICA - CAMPUS CIUDAD UNIVERSITARIA

PUNTO DE CONTROL: 02

SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS)

UBICACION DEL VERTICE: El vértice se encuentra ubicado en el circuito interno

Universitario, detrás del estadio olímpico, cerca de la entrada de Revolución a la Universidad.

El vértice esta al lado de un poste en la curva. (Ver foto de referencia).

DESCRIPCION DEL VERTICE: EL vértice es identificable por una bala para concreto

(Hiiti), el cual también se encuentra marcado con pintura naranja.

COORDENADAS:

Coordenadas Geográficas:

INEGI (ITRF-92): Lat ϕ : 19°20'01.40917" N Long λ : 99°11'38.46346" W

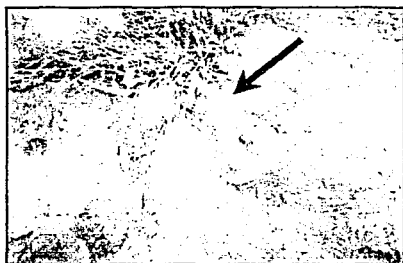
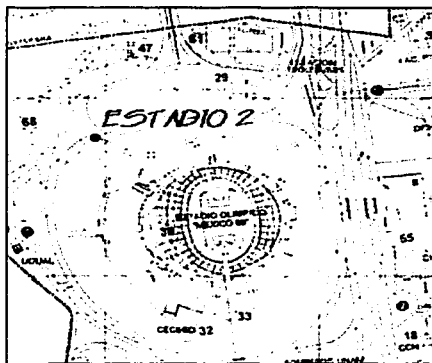
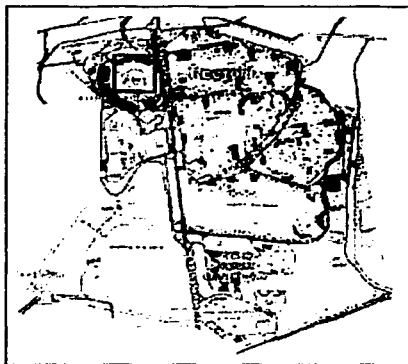
LEICA (WGS84): Lat ϕ : 19°20'01.40938" N Long λ : 99°11'38.46810" W

Coordenadas UTM:

INEGI (ITRF-92): E= 479620.689 N= 2137765.453

LEICA (Nad27): E= 479620.2709 N= 2137637.759

CROQUIS DE LOCALIZACION



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3 Medicina



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO



FACULTAD DE INGENIERIA

RED GEODESICA - CAMPUS CIUDAD UNIVERSITARIA

PUNTO DE CONTROL: 03

SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS)

UBICACION DEL VERTICE: El vértice se encuentra ubicado en la parada de medicina del autobús universitario, de frente a la entrada de autos de Copilco (cerro del agua). Sobre la acera del circuito. (ver foto de referencia).

DESCRIPCION DEL VERTICE: EL vértice es identificable por una balsa para concreto (Hiliti), el cual también se encuentra marcado con pintura naranja.

COORDENADAS:

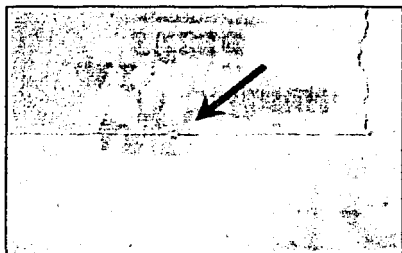
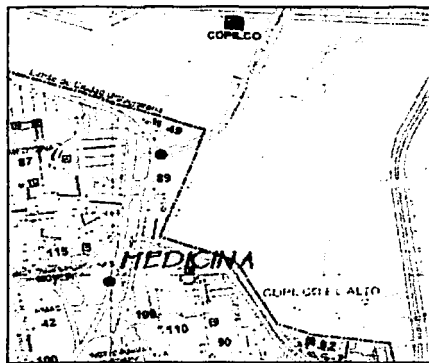
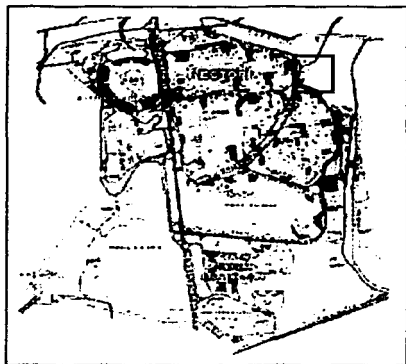
Coordenadas Geográficas:

INEGI (ITRF-92): Lat ϕ : 19°19'57.98846" N Long λ : 99°10'43.77430" W
LEICA (WGS84): Lat ϕ : 19°19'57.98841" N Long λ : 99°10'43.77839" W

Coordenadas UTM:

INEGI (ITRF-92): E= 481216.269 N= 2137658.593
LEICA (Nad27): E= 481215.867 N= 2137530.891

CROQUIS DE LOCALIZACION



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

④ Edificio "B" (Facultad de Ingeniería)



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO



FACULTAD DE INGENIERIA

RED GEODESICA - CAMPUS CIUDAD UNIVERSITARIA

PUNTO DE CONTROL: 04

SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL (GPS)

UBICACION DEL VERTICE: El vértice se encuentra ubicado en el circuito interno

Universitario, detrás del estadio olímpico, cerca de la entrada de Revolución a la Universidad.

El vértice esta al lado de un poste en la curva. (Ver foto de referencia).

DESCRIPCION DEL VERTICE: EL vértice es identificable por una bala para concreto

(Hiti), el cual también se encuentra marcado con pintura naranja.

COORDENADAS:

Coordenadas Geográficas:

LEICA (WGS84): Lat ϕ : 19°19'51.81675" N Long λ : 99°11'06.19154" W

Coordenadas UTM:

LEICA (Nad27): E= 480561.7026 N= 2137341.882

CAPITULO IV.-

Cálculo de Ajustes

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

IV.1.- DESCRIPCIÓN DE LOS DATOS TERRESTRES.-

El levantamiento: de la poligonal topográfica cerrada (Fig. 14), dentro del Circuito Universitario, fue realizado con un Teodolito electrónico (estación total) modelo T-1600 , este cuenta con un modulo REC(tarjeta de almacenamiento de datos de campo) y un dispositivo para adaptar un distanciómetro modelo Di- 1600.

El procesamiento: de la información en gabinete se realiza con el software **WildSoft**, que es un programa para procesar la información obtenida de una unidad de almacenamiento (modulo REC); o de otra manera, cuando no se cuenta con un modulo REC, dicha información se introduce manualmente en el registro del programa, para que los datos sean procesados. Las opciones que brinda este programa van desde la simple transferencia de datos hasta la realización de el dibujo (en pantalla o por medio de un archivo .dxf de lectura en AutoCad) de los resultados obtenidos en el cálculo, además de las múltiples herramientas proporcionadas para el mejor procesamiento de la información.

El método (método de observaciones de ángulos).utilizado para el levantamiento de la poligonal del circuito universitario fue el de Bessel. El cual consiste en realizar tres series de observaciones las cuales son tomadas de la siguiente manera:

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPITULO IV.- Cálculo de Ajustes.

- ✓ Visando al punto atrás en posición directa
- ✓ Visando al punto adelante en posición directa
- ✓ Giramos 180° y damos vuelta de campana (término utilizado al referirnos al girar el telescopio 180° sobre el eje azimutal de movimiento) y observamos en posición inversa al punto de adelante visamos al punto atrás en posición inversa.
- ✓ Las distancias fueron medidas con un distaciometro DI 1600.

Los resultados: obtenidos fueron los siguientes:

- 1) un error en cierre angular de **33"**
- 2) un error en cierre lineal de **5 cm** y
- 3) el cierre de la poligonal con una precisión relativa aproximada de **1:142 000.**

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El levantamiento de dicha poligonal, fue el inicio de los trabajos para establecer la **"Red Geodésica del Campus de Ciudad Universitaria (UNAM)"**.

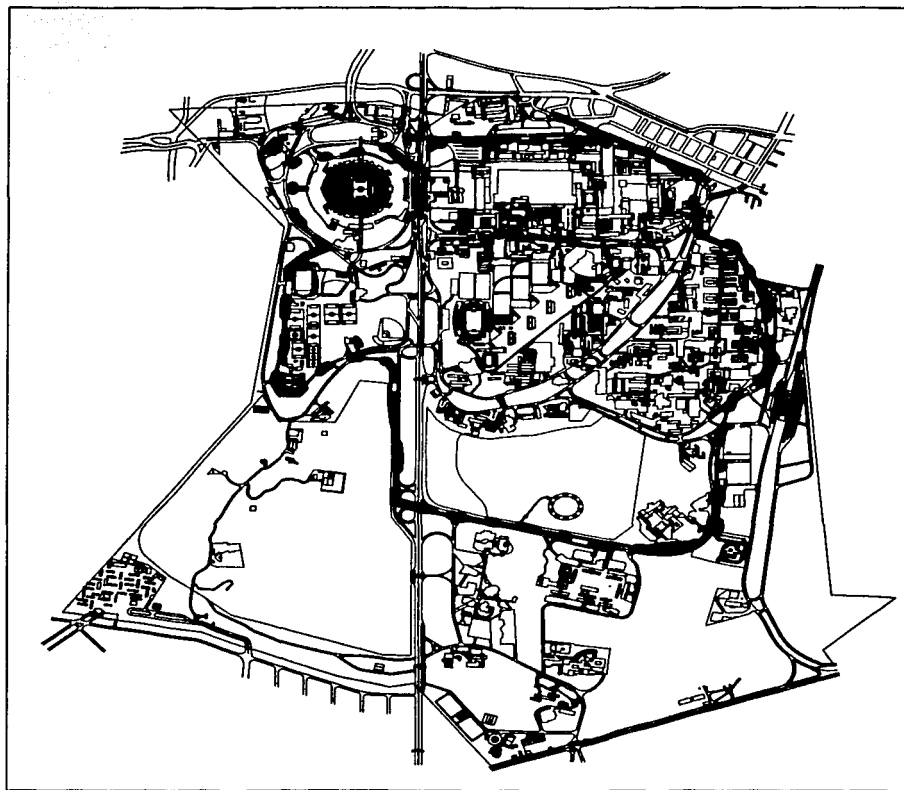


Fig.14.- Red Geodésica del Campus de Ciudad Universitaria (UNAM).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

IV.2.- MODELOS MATEMÁTICOS PARA LAS OBSERVACIONES TERRESTRES.-

Un modelo matemático se define como la expresión matemática de un concepto; o sea representaciones teóricas que simulan el comportamiento o la actividad de sistemas, procesos o fenómenos, incluye el uso de ecuaciones matemáticas, computadoras y otro equipo electrónico.

La idea básica del modelo matemático es determinar una relación matemática que se comporte del mismo modo que los objetos o procesos que se investigan. Un modelo matemático proporciona una perspectiva de cómo funciona algo en realidad, o puede ajustarse muy bien a las observaciones sin ningún significado intuitivo.

Las computadoras han mejorado mucho el poder y el empleo de los modelos matemáticos porque realizan extensos, complicados o repetitivos cálculos; por ello, pueden indicar las consecuencias de aplicar o de cambiar reglas complejas. Las posibilidades gráficas de las computadoras son útiles en el diseño, prueba de dispositivos y estructuras, y en simulación de procesos complicados.

Se puede probar la utilidad de un modelo al comparar sus predicciones con las observaciones del mundo real; pero una buena coincidencia no indica, necesariamente, que el modelo sea el único "verdadero", o el único que puede funcionar

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

La relación entre las estaciones observadas y las desconocidas están escritos de la siguiente manera:

$$(1) \quad \left\{ \begin{array}{ll} \alpha_{ikj} = Az_{kj} - Az_{ki} & \text{(Fig. 15a)} \\ D_{ij} = d_{ij} & \text{(Fig. 15b)} \end{array} \right.$$

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

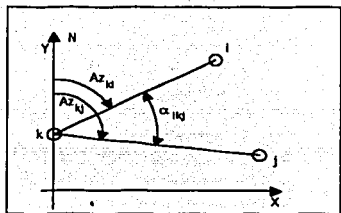


Fig.15a.- Ángulos.

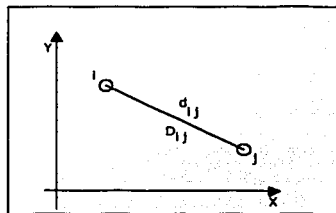


Fig.15b.- Distancias.

Az_{ki} ; azimut calculado con las coordenadas de las estaciones “k” e “i”.

Az_{kj} ; azimut calculado con las coordenadas de las estaciones “k” e “j”.

α_{ikj} ; ángulo observado en la estación “k”, de “i” hacia “j”.

d_{ij} ; distancia calculado con las coordenadas de las estaciones “i” y “j”.

D_{ij} ; distancia medida y reducida entre las estaciones “i” y “j”.

Modelo Matemático de las Direcciones:

$$Az_{ki} = \tan^{-1} \left(\frac{x_i - x_k}{y_i - y_k} \right)$$

$$Az_{kj} = \tan^{-1} \left(\frac{x_j - x_k}{y_j - y_k} \right)$$

Modelo matemático para las distancias:

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$$

sustituyendo en (1), obtenemos la ecuación paramétrica:

$$(2) \begin{cases} \alpha_{ikj} = \tan^{-1} \left(\frac{x_j - x_k}{y_j - y_k} \right) - \left(\frac{x_i - x_k}{y_i - y_k} \right) & = F_a(\mathbf{x}) \\ D_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} & = F_d(\mathbf{x}) \end{cases}$$

que representa el modelo matemático para los ángulos.

Tenemos una relación funcional en (2):

$$L = F(X)_{\alpha,d}$$

Donde:

L: son las observaciones (n), n= número de observaciones
X: son las incógnitas (u), u= número de incógnitas

El modelo anterior puede linealizarse a través de las series de expansión de Taylor., i.e.

$$L = F(X^0) + \left. \frac{dF}{dx} \right|_{x^0, L} (X - X^0)$$
$$L = F(X) + A \cdot \Delta X$$

Donde:

X^0 : es el punto de expansión de la serie de Taylor; esto es los valores iniciales (aproximados) de las coordenadas de las estaciones.

Entonces tomamos el término de mayor orden. Sustituyendo ΔX por : $(X - X^0)$

y llamando a: $(X - X^0), F(X^0) - L = W$

y denominando a:

$$A = \left. \frac{\partial F}{\partial x} \right|_{x^0, L}$$

Tenemos el modelo lineal:

$$W = A \cdot \Delta X$$

Reformulando para el ajuste, tenemos:

$$(3) \quad W + A(\Delta X) - V = 0$$

Sin embargo en este caso estamos resolviendo para las correcciones :

$$\overline{\Delta X} ; \hat{X} = X^o + \overline{\Delta X}$$

> SOLUCIÓN DEL VECTOR X-

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El modelo matemático no lineal (2)

$$F(\overline{X}) - \overline{L} = 0$$

es linealizada con la aproximación inicial X^o y observar los valores L para dar el modelo linealizado (3)

$$\underset{17,6}{A} \underset{6,1}{X} + \underset{17,1}{W} - \underset{17,1}{V} = 0$$

Las estaciones observables (\overline{L}) son:

$$(4) \quad \begin{cases} L_{\alpha} = \alpha_{ikj} \\ L_d = D_{ij} \end{cases}$$

La linealización de las ecuaciones de los ángulos son:

$$(5) \quad \left(\frac{\partial F_\alpha}{\partial X} \right)_{\alpha, i} = \frac{\partial \alpha}{\partial x_i}, \frac{\partial \alpha}{\partial y_i}; \quad i = 3, 4, 5$$

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Usando la notación dada en la Fig. 15a y Fig. 15b

$$\frac{\partial \alpha}{\partial x_i} = -\frac{y_i - y_k}{d^2_{ki}} \Rightarrow \text{o en notacion simple} \Rightarrow -\frac{\Delta y}{d^2} ki$$

$$\frac{\partial \alpha}{\partial y_i} = \frac{x_i - x_k}{d^2_{ki}} \Rightarrow \text{o en notacion simple} \Rightarrow \frac{\Delta x}{d^2} ki$$

$$\frac{\partial \alpha}{\partial x_j} = \frac{y_j - y_k}{d^2_{kj}} \Rightarrow \text{" " " " " " } \Rightarrow \frac{\Delta y}{d^2} kj$$

$$\frac{\partial \alpha}{\partial y_j} = -\frac{x_j - x_k}{d^2_{kj}} \Rightarrow \text{" " " " " " } \Rightarrow -\frac{\Delta x}{d^2} kj$$

$$\frac{\partial \alpha}{\partial x_k} = \frac{y_i - y_k}{d^2_{ki}} - \frac{y_j - y_k}{d^2_{kj}} \Rightarrow \text{" " " " " " } \Rightarrow \frac{\Delta y}{d^2} ki - \frac{\Delta y}{d^2} kj$$

$$\frac{\partial \alpha}{\partial y_k} = -\left(\frac{x_i - x_k}{d^2_{ki}} - \frac{x_j - x_k}{d^2_{kj}} \right) \Rightarrow \text{" " " " " " } \Rightarrow -\left(\frac{\Delta x}{d^2} ki - \frac{\Delta x}{d^2} kj \right)$$

$$V_\alpha = -\frac{\Delta y}{d^2_{ki}} dx_i + \frac{\Delta x}{d^2_{ki}} dy_i + \frac{\Delta y}{d^2_{kj}} dx_j - \frac{\Delta x}{d^2_{kj}} dy_j + \left(\frac{\Delta y}{d^2} ki - \frac{\Delta y}{d^2} kj \right) dx_k - \left(\frac{\Delta x}{d^2} ki - \frac{\Delta x}{d^2} kj \right) dy_k - (\alpha - \alpha^0)$$

Linealización de los modelos matemáticos de las distancias:

$$(6) \quad \left(\frac{\partial Fd}{\partial x} \right)_{d,\mu} = \frac{\partial d}{\partial x_i}, \frac{\partial d}{\partial y_i} \quad i = 3, 4, 5$$

$$\frac{\partial d}{\partial x_i} = -\frac{x_j - x_i}{d_{ij}} \Rightarrow \text{o en notacion simple} \quad \Rightarrow -\frac{\Delta x}{d} \text{ ij}$$

$$\frac{\partial d}{\partial y_i} = -\frac{y_j - y_i}{d_{ij}} \Rightarrow \text{" " " " } \quad \Rightarrow -\frac{\Delta y}{d} \text{ ij}$$

$$\frac{\partial d}{\partial x_j} = \frac{x_j - x_i}{d_{ij}} \Rightarrow \text{" " " " } \quad \Rightarrow \frac{\Delta x}{d} \text{ ij}$$

$$\frac{\partial d}{\partial y_j} = \frac{y_j - y_i}{d_{ij}} \Rightarrow \text{" " " " } \quad \Rightarrow \frac{\Delta y}{d} \text{ ij}$$

$$V_d = -\frac{\Delta x}{d} dx_i - \frac{\Delta y}{d} dy_i + \frac{\Delta x}{d} dx_j + \frac{\Delta y}{d} dy_j - (D_{ij} - d_{ij})$$

Uniendo (5) y (6), obtendremos la matriz A con forma siguiente:

$$A_{17,6} = \begin{bmatrix} \left(\frac{\partial F\alpha}{\partial x} \right)_{a,i} \\ \left(\frac{\partial Fd}{\partial x} \right)_{a,j} \end{bmatrix}_{x^o, L} \quad \begin{bmatrix} \left(\frac{1}{m} \right) \\ (1) \end{bmatrix}_{UNIDADES}$$

Escribiendo las ecuaciones de observación linealizadas (3) en forma de matriz y (2) las ecuaciones paramétricas.

$$(7) \begin{bmatrix} \left(\frac{\partial F\alpha}{\partial x}\right)_{d,u} \\ \left(\frac{\partial Fd}{\partial x}\right)_{d,u} \end{bmatrix}_{X^0,L} \begin{bmatrix} dx_{11} \\ dy_{12} \\ dx_{13} \\ dy_{11} \\ dx_{12} \\ dy_{13} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} (F_\alpha(X^0) - L_\alpha)_{\alpha,1} \\ (F_d(X^0) - L_d)_{d,1} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} (V_\alpha)_{\alpha,1} \\ (V_d)_{d,1} \end{bmatrix} = 0$$

➤ **PESOS DE LA OBSERVACIONES P.-**

Los pesos **Pi** se calculan de la siguiente forma:

$$\frac{P_0}{P_i} = \frac{\sigma_i^2}{\sigma_0^2}$$

donde:

P_0 = es el peso de una observación típica.

σ_0^2 apriori = es la varianza de las observaciones típicas.

Dando valores:

$$P_0 = 1$$

$$\sigma_0^2 \text{ apriori} = 1$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Los otros pesos se calculan con:

$$P_i = \frac{1}{\sigma_i^2} \quad \text{m matriz de la forma } P = \Sigma_L^{-1}$$

cuando las observaciones son consideradas incorrectas, la matriz de varianza-covarianza Σ_L de las cantidades observadas es:

$$\Sigma_{n,n}^L = \text{diag}(\sigma_1^2, \sigma_2^2, \sigma_3^2, \dots, \sigma_n^2)$$

La matriz de pesos correspondiente es:

$$(8) \quad P_{n,n} = \text{diag}(1/\sigma_1^2, 1/\sigma_2^2, 1/\sigma_3^2, \dots, 1/\sigma_n^2)$$

con la matriz de pesos de las observaciones (asumiendo $\sigma_0^2 = 1$) (8)

$$P_{n,n} = \sigma_0^2 \Sigma_L^{-1} = \Sigma_L^{-1}$$

NOTA: como nosotros queremos recibir a V_a en arcos de segundos, tenemos que multiplicar los coeficientes de

$\left(\frac{\partial r_i}{\partial x}\right)_{a,u}$ por ρ'' y expresar los ángulos en segundos:

$$\rho'' = (3600'' \times 180^\circ) / 3.1416 = 206\,264''$$

Aplicando el principio de mínimos cuadrados y la forma cuadrática $V^T P V$ tenemos:

Estimación del

Vector Solución:
$$\Delta \hat{x}_{n,1} = -(A^T P A)^{-1} A^T P W \quad (9)$$

Vector de solución total
$$\hat{x}_{n,1} = X^0 + \hat{X} \quad (10)$$

Vector residual
$$\hat{V}_{n,1} = A \hat{X} + W \quad (11)$$

Vector Adj. Obs.
$$\hat{L}_{n,1} = L + \hat{V} \quad (12)$$

Factor de varianza
$$\sigma_0^2 = \frac{\hat{V}^T P \hat{V}}{n - u} = \quad (13)$$

Para calcular dichas estimaciones, las anteriores matrices se calcularon a partir del un programa que elabore, en el compilador MAT-LAB, los cuales hacen referencia en el Apéndice. Para cualquier aclaración revisar el programa presentado en esta sección (Apéndice).

A continuación se presentará un ejemplo, el cual aclarará el empleo de cada una de las matrices antes expuestas en este capítulo.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

EJEMPLO:

La siguiente red ha sido posicionada, y requiere de un ajuste de precisión, por método de mínimos cuadrados para cada uno de sus vértices. A continuación se presenta un ejemplo:

1. DATOS:

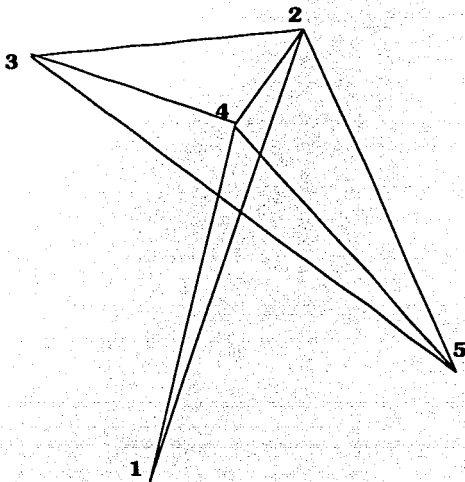
TABLA DE OBSERVACIONES					
EST	PTO. ATRÁS	PTO. ADELANTE	ÁNGULO	PRISMA	DISTANCIA
1	4	2	00°19'22"	4	1659.484
2	3	4	42°28'35"	3	861.856
2	4	5	59°58'11"	4	485.560
3	2	4	33°03'40"	4	601.057
3	2	5	53°05'36"	5	2032.338
4	1	3	76°57'33"	--	1482.026
4	3	2	104°27'41"	--	--
4	2	5	103°33'16"	5	--
5	3	2	24°27'48"	2	1664.165
5	3	4	16°28'39"	--	--

TABLA DE COORDENADAS FIJAS		
EST	NORTE (Y)	ESTE (X)
1	799150.227	961989.884
2	801013.551	963052.283

TABLA DE COORDENADAS APROXIMADAS		
3	800765.400	962223.900
4	800596.400	962803.700
5	799560.600	963863.600

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

LA RED GEÓDESICA POR AJUSTAR



De los datos obtenidos del posicionamiento, tenemos lo siguiente:

$$n=17$$

$$u=6$$

$$v=n-u=17-6=11$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2. DESARROLLO:

Con todos datos anteriores, se empezarán a calcular las matrices correspondientes a cada uno de los incisos anteriormente estudiados. Comenzaremos con

:

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

➤ EL DISEÑO DE LA MATRIZ "A".

Áng	x3	y3	x4	y6	x5	y5
412	0	0	$-\rho'' \frac{\Delta y}{d_0^2} 14$	$\rho'' \frac{\Delta x}{d_0^2} 14$	0	0
423	$\rho'' \frac{\Delta y}{d_0^2} 23$	$-\rho'' \frac{\Delta x}{d_0^2} 23$	$-\rho'' \frac{\Delta y}{d_0^2} 24$	$\rho'' \frac{\Delta x}{d_0^2} 24$	0	0
524	0	0	$\rho'' \frac{\Delta y}{d_0^2} 24$	$\rho'' \frac{\Delta x}{d_0^2} 24$	$-\rho'' \frac{\Delta y}{d_0^2} 25$	$\rho'' \frac{\Delta x}{d_0^2} 25$
234	$\rho'' \left(\frac{\Delta y}{d_0^2} 32 - \frac{\Delta y}{d_0^2} 34 \right)$	$-\rho'' \left(\frac{\Delta x}{d_0^2} 32 - \frac{\Delta x}{d_0^2} 34 \right)$	$\rho'' \frac{\Delta y}{d_0^2} 34$	$-\rho'' \frac{\Delta x}{d_0^2} 34$	0	0
235	$\rho'' \left(\frac{\Delta y}{d_0^2} 32 - \frac{\Delta y}{d_0^2} 35 \right)$	$-\rho'' \left(\frac{\Delta x}{d_0^2} 32 - \frac{\Delta x}{d_0^2} 35 \right)$	0	0	$\rho'' \frac{\Delta y}{d_0^2} 35$	$\rho'' \frac{\Delta x}{d_0^2} 35$
143	$\rho'' \frac{\Delta y}{d_0^2} 43$	$-\rho'' \frac{\Delta x}{d_0^2} 43$	$\rho'' \left(\frac{\Delta y}{d_0^2} 41 - \frac{\Delta y}{d_0^2} 43 \right)$	$-\rho'' \left(\frac{\Delta x}{d_0^2} 41 - \frac{\Delta x}{d_0^2} 41 \right)$	0	0
342	$-\rho'' \frac{\Delta y}{d_0^2} 43$	$\rho'' \frac{\Delta x}{d_0^2} 43$	$\rho'' \left(\frac{\Delta y}{d_0^2} 43 - \frac{\Delta y}{d_0^2} 42 \right)$	$-\rho'' \left(\frac{\Delta x}{d_0^2} 43 - \frac{\Delta x}{d_0^2} 42 \right)$	0	0
245	0	0	$\rho'' \left(\frac{\Delta y}{d_0^2} 42 - \frac{\Delta y}{d_0^2} 45 \right)$	$-\rho'' \left(\frac{\Delta x}{d_0^2} 42 - \frac{\Delta x}{d_0^2} 45 \right)$	$\rho'' \frac{\Delta y}{d_0^2} 45$	$-\rho'' \frac{\Delta x}{d_0^2} 45$

352	$-\rho^n \frac{\Delta y}{d_0^2} \overline{53}$	$\rho^n \frac{\Delta x}{d_0^2} \overline{53}$	0	0	$\rho^n \left(\frac{\Delta y}{d_0^2} \overline{35} - \frac{\Delta y}{d_0^2} \overline{52} \right) - \rho^n \left(\frac{\Delta x}{d_0^2} \overline{35} - \frac{\Delta x}{d_0^2} \overline{52} \right)$	
452	0	0	$-\rho^n \frac{\Delta y}{d_0^2} \overline{54}$	$\rho^n \frac{\Delta x}{d_0^2} \overline{54}$	$\rho^n \left(\frac{\Delta y}{d_0^2} \overline{54} - \frac{\Delta y}{d_0^2} \overline{52} \right) - \rho^n \left(\frac{\Delta x}{d_0^2} \overline{54} - \frac{\Delta x}{d_0^2} \overline{52} \right)$	
d14	0	0	$\frac{\Delta x}{d_0} \overline{14}$	$\frac{\Delta y}{d_0} \overline{14}$	0	0
d23	$\frac{\Delta x}{d_0} \overline{23}$	$\frac{\Delta y}{d_0} \overline{23}$	0	0	0	0
d24	0	0	$\frac{\Delta x}{d_0} \overline{24}$	$\frac{\Delta y}{d_0} \overline{24}$	0	0
d34	$-\frac{\Delta x}{d_0} \overline{34}$	$\frac{\Delta y}{d_0} \overline{34}$	$\frac{\Delta x}{d_0} \overline{34}$	$\frac{\Delta y}{d_0} \overline{34}$	0	0
d35	$-\frac{\Delta x}{d_0} \overline{35}$	$-\frac{\Delta y}{d_0} \overline{35}$	0	0	$\frac{\Delta x}{d_0} \overline{35}$	$\frac{\Delta y}{d_0} \overline{35}$
d45	0	0	$-\frac{\Delta x}{d_0} \overline{45}$	$-\frac{\Delta y}{d_0} \overline{45}$	$\frac{\Delta x}{d_0} \overline{45}$	$\frac{\Delta y}{d_0} \overline{45}$
d52	0	0	0	0	$-\frac{\Delta x}{d_0} \overline{52}$	$\frac{\Delta y}{d_0} \overline{52}$

Donde:

- ✓ Δx y Δy , son las diferencias de las coordenadas de cada vértice que conforma la red. Y quedan de la siguiente manera:

$$\Delta y = y_{\text{posterior}} - y_{\text{anterior}}$$

$$\Delta x = x_{\text{posterior}} - x_{\text{anterior}}$$

- ✓ d_o , es la distancia medida en campo que existe entre cada vértice:

Los vértices son: $a_1 = (x_{\text{anterior}}, y_{\text{anterior}})$ y $a_2 = (x_{\text{posterior}}, y_{\text{posterior}})$

- ✓ ρ'' , representa a los ángulos en segundos:

$$\rho'' = (3600'' \times 180^\circ) / 3.1416 = 206\,264''.$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

▷ EL VECTOR W.-

ángulo (")	Diferencia en segundos valores calculados aprox	Valores medidos
412	$\left(\tan^{-1} \frac{\Delta x}{\Delta y} \overline{12} - \tan^{-1} \frac{\Delta x}{\Delta y} \overline{14} \right) -$	α_{412}
423	$\left(\tan^{-1} \frac{\Delta x}{\Delta y} \overline{23} - \tan^{-1} \frac{\Delta x}{\Delta y} \overline{24} \right) -$	α_{423}
524	$\left(\tan^{-1} \frac{\Delta x}{\Delta y} \overline{24} - \tan^{-1} \frac{\Delta x}{\Delta y} \overline{25} \right) -$	α_{524}
234	$\left(\tan^{-1} \frac{\Delta x}{\Delta y} \overline{34} - \tan^{-1} \frac{\Delta x}{\Delta y} \overline{32} \right) -$	α_{234}
235	$\left(\tan^{-1} \frac{\Delta x}{\Delta y} \overline{35} - \tan^{-1} \frac{\Delta x}{\Delta y} \overline{32} \right) -$	α_{235}
143	$\left(\tan^{-1} \frac{\Delta x}{\Delta y} \overline{43} - \tan^{-1} \frac{\Delta x}{\Delta y} \overline{41} \right) -$	α_{143}
342	$\left(\tan^{-1} \frac{\Delta x}{\Delta y} \overline{42} - \tan^{-1} \frac{\Delta x}{\Delta y} \overline{43} \right) -$	α_{342}
245	$\left(\tan^{-1} \frac{\Delta x}{\Delta y} \overline{45} - \tan^{-1} \frac{\Delta x}{\Delta y} \overline{42} \right) -$	α_{245}
352	$\left(\tan^{-1} \frac{\Delta x}{\Delta y} \overline{52} - \tan^{-1} \frac{\Delta x}{\Delta y} \overline{53} \right) -$	α_{352}
452	$\left(\tan^{-1} \frac{\Delta x}{\Delta y} \overline{52} - \tan^{-1} \frac{\Delta x}{\Delta y} \overline{54} \right) -$	α_{452}
Distancia (ft)		
d14	$(d_0 \overline{14})$	$-D_{14}$
d23	$(d_0 \overline{23})$	$-D_{23}$
d24	$(d_0 \overline{24})$	$-D_{24}$
d34	$(d_0 \overline{34})$	$-D_{34}$
d35	$(d_0 \overline{35})$	$-D_{35}$
d45	$(d_0 \overline{45})$	$-D_{45}$
d52	$(d_0 \overline{52})$	$-D_{52}$

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Donde:

- ✓ Δx y Δy , son las diferencias de las coordenadas de cada vértice que conforma la red. Y quedan de la siguiente manera:

$$\Delta y = y_{\text{posterior}} - y_{\text{anterior}}$$

$$\Delta x = x_{\text{posterior}} - x_{\text{anterior}}$$



- ✓ d_0 , es la distancia medida en campo que existe entre cada vértice:

Los vértices: $a_1 = (x_{\text{anterior}}, y_{\text{anterior}})$ y $a_2 = (x_{\text{posterior}}, y_{\text{posterior}})$

- ✓ D , es la distancia calculada a partir de las coordenadas obtenidas para cada uno de los vértices que pertenecen a la red.

Si los vértices son: $a_1 = (x_{\text{anterior}}, y_{\text{anterior}})$ y $a_2 = (x_{\text{posterior}}, y_{\text{posterior}})$ por tanto:

La distancia es:

$$D = \sqrt{(X_{\text{posterior}} - X_{\text{anterior}})^2 + (Y_{\text{posterior}} - Y_{\text{anterior}})^2}$$

- ✓ α ; es el ángulo observado entre cada vértice, durante el trabajo en campo; es una cantidad medida en campo.

➤ **MATRIZ P DE LOS PESOS.-**

OBSERVACIONES ANGULARES:

$$\frac{1}{\sigma_i^2} = 0.25 ; 1,2,3,\dots,10$$

$$1/(2)^2=0.25$$

$$\frac{1}{\sigma_i^2} = 0.25 \quad i = 1,2,\dots,10 \quad \} \quad \text{para observaciones angulares } \sigma = 2''$$

DISTANCIAS:

$$\frac{1}{\sigma_{11}^2} = 2260$$

$$1/(0.002)^2 + [(0.000004 \times (1659.484))]^2 = 2260$$

$$\frac{1}{\sigma_{11}^2} = 2260$$

$$(d = \overline{14}) = 1659.484$$

$$\frac{1}{\sigma_{12}^2} = 2428$$

$$(d = \overline{23}) = 861.856$$

$$\frac{1}{\sigma_{13}^2} = 2477$$

$$(d = \overline{24}) = 485.560$$

$$\frac{1}{\sigma_{14}^2} = 2464$$

$$(d = \overline{34}) = 601.057$$

$$\frac{1}{\sigma_{15}^2} = 2146$$

$$(d = \overline{35}) = 2032.338$$

$$\frac{1}{\sigma_{16}^2} = 2298$$

$$(d = \overline{45}) = 1482.026$$

$$\frac{1}{\sigma_{17}^2} = 2251$$

$$(d = \overline{52}) = 1664.165$$

$$\text{para distancias } \sigma^2 = (0.002)^2 + (0.000004 \times d)^2$$

A continuación se muestra el ajuste hecho a la red geodésica del campus universitario (UNAM).

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

IV.3.- COMBINACIÓN DE LAS OBSERVACIONES TERRESTRES

(MATRIZ "A").-

La Matriz de diseño "A" esta formada por dos matrices : a) la Matriz de diseño "A": coeficientes de los ángulos y b) la Matriz de diseño "A": coeficientes de las distancias.

Para llegar a la Matriz "A" o de diseño "A" se toman en consideración los siguientes datos :

Datos Conocidos:

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1.- Número de *observaciones independientes*:

$$n = 51 \text{ (ángulos)} + 50 \text{ (distancias)} = 101$$

2.- Número de *coordenadas desconocidas* (las que no pertenecen a la línea base):

$$u = 98$$

3.- Con los incisos 1 y 2, obtenemos el número de *observaciones redundantes o grados de libertad*:

$$v = n - u = 101 - 98 = 3$$

La Matriz "A" o de diseño "A" es la siguiente, más adelante se describe el desarrollo matemático que la sustenta:

CAPITULO IV.- Cálculo de Ajustes.

Entonces tenemos:

$$\text{Matriz A} = \begin{bmatrix} \text{[Matriz "A": coeficientes de los ángulos]} \\ \text{[Matriz "A": coeficientes de las distancias]} \end{bmatrix}$$

	dx_2	dy_2	dx_3	dy_3	dx_4	dy_4	...	dx_{49}	dy_{49}	dx_{50}	dy_{50}
α_1	$\rho'' \frac{\Delta y_{12}}{d^2}$	$-\rho'' \frac{\Delta x_{12}}{d^2}$	0	0	0	0	...	0	0	0	0
α_2	$\rho'' \left(\frac{dy_{12}}{d^2} \right) \left(\frac{dy_{23}}{d^2} \right)$	$\rho'' \left(\left(\frac{dx_2}{d^2} \right) \left(\frac{dy_{23}}{d^2} \right) \right)$	$\rho'' \frac{\Delta y_{23}}{d^2}$	$-\rho'' \left(\frac{\Delta x_{23}}{d^2} \right)$	0	0	...	0	0	0	0
α_3	$\rho'' \frac{\Delta y_{12}}{d^2}$	$-\rho'' \frac{\Delta x_{12}}{d^2}$	$\rho'' \left(\left(\frac{dy_{23}}{d^2} \right) \left(\frac{dy_{34}}{d^2} \right) \right)$	$-\rho'' \left(\left(\frac{dx_{23}}{d^2} \right) \left(\frac{dy_{34}}{d^2} \right) \right)$	$\rho'' \frac{\Delta y_{34}}{d^2}$	$-\rho'' \left(\frac{\Delta x_{34}}{d^2} \right)$	...	0	0	0	0
.
.
.
α_{51}	0	0	0	0	0	0	...	0	0	$-\rho'' \left(\frac{\Delta y_{4950}}{d^2} \right)$	$\rho'' \frac{\Delta x_{4950}}{d^2}$
d_{51-2}	$\frac{\Delta x}{d^2} 51 - 2$	$\frac{\Delta y}{d^2} 51 - 2$	0	0	0	0	...	0	0	0	0
d_{1-3}	0	0	$\frac{\Delta x}{d^2} 3 - 1$	$\frac{\Delta y}{d^2} 3 - 1$	0	0	...	0	0	0	0
d_{2-4}	$-\left(\frac{\Delta x}{d^2} 4 - 2 \right)$	$-\left(\frac{\Delta y}{d^2} 4 - 2 \right)$	0	0	$\frac{\Delta x}{d^2} 4 - 2$	$\frac{\Delta y}{d^2} 4 - 2$	...	0	0	0	0
.
.
.
d_{50-1}	0	0	0	0	0	0	...	0	0	$-\left(\frac{\Delta x}{d^2} 1 - 50 \right)$	$-\left(\frac{\Delta y}{d^2} 1 - 50 \right)$

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

**ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA**

IV.3.1.- MATRIZ DE DISEÑO "A": COEFICIENTES DE LOS ÁNGULOS.-

La Matriz e los Coeficientes de los ángulos de la poligonal del Circuito Universitario se obtiene del Modelo Matemático siguiente:

- Modelo Matemático de la Matriz de los Pesos de las Observaciones:

La Matriz "A" o de diseño "A": coeficientes de los ángulos esta formada de la siguiente manera:

		Columna de las observaciones			
Renglón de coordenadas desconocidas		dx_2	dy_2	dx_3	dy_3
α_1		$\frac{y_2 - y_1}{d_{1-2}^2}$	$-\left(\frac{x_2 - x_1}{d_{1-2}^2}\right)$	0	0
α_2		$\left(\frac{y_1 - y_2}{d_{2-1}^2}\right) - \left(\frac{y_3 - y_2}{d_{2-3}^2}\right)$	$-\left[\left(\frac{x_1 - x_2}{d_{2-1}^2}\right) - \left(\frac{x_3 - x_2}{d_{2-3}^2}\right)\right]$	$\frac{y_3 - y_2}{d_{2-3}^2}$	$-\left(\frac{x_3 - x_2}{d_{2-3}^2}\right)$

Fig.16.- Matriz "A": coeficientes de los ángulos.

Donde la Matriz de diseño "A": coeficientes de los ángulos es de **51 x 98**; ya que al tener 50 pares de coordenadas tomamos de los 50 pares, dos pares como coordenadas conocidas, las cuales representan una línea base conocida, por tanto sólo son 96 incógnitas, Fig. 16.

Comenzamos con el ángulo (α_2) el cual esta conformado por un vértice que forma la Línea Base y dos que no pertenecen a ella. Con el mismo procedimiento, obtenemos el modelo matemático para dos vértices fuera de la línea base y uno solo que pertenece a ella.

	dx_2	dy_2	dx_3	dy_3
α_2	$\left(\frac{y_1 - y_2}{d_{2-1}^2}\right) - \left(\frac{y_3 - y_2}{d_{2-3}^2}\right)$	$- \left(\left(\frac{x_1 - x_2}{d_{2-1}^2} \right) - \left(\frac{x_3 - x_2}{d_{2-3}^2} \right) \right)$	$\frac{y_3 - y_2}{d_{2-3}^2}$	$- \left(\frac{x_3 - x_2}{d_{2-3}^2} \right)$

Ahora tenemos el siguiente ángulo (α_3) el cual tiene a los tres vértices que no pertenecen a la línea base. Tomando en cuenta la el modelo matemático teórico, para obtener las matrices tenemos que:

	dx_2	dy_2	dx_3	dy_3	dx_4	dy_4
α_3	$- \left(\frac{y_2 - y_3}{d_{3-2}^2} \right)$	$\frac{x_2 - x_3}{d_{3-2}^2}$	$\left(\frac{y_2 - y_3}{d_{3-2}^2} \right) - \left(\frac{y_4 - y_3}{d_{3-4}^2} \right)$	$- \left(\left(\frac{x_2 - x_3}{d_{3-2}^2} \right) - \left(\frac{x_4 - x_3}{d_{3-4}^2} \right) \right)$	$\frac{y_4 - y_3}{d_{3-4}^2}$	$- \left(\frac{x_4 - y_3}{d_{3-4}^2} \right)$

Para los ángulos ($\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n$) , las ecuaciones matemáticas para formar la matriz de los pesos de las observaciones son las mismas, que se utilizan para el ángulo α_1 , con sus respectivos BS y FS.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

Y finalmente para los ángulos α_{50} y α_{51} , las ecuaciones matemáticas quedan de la siguiente manera:

	dx_{50}	dy_{50}	dx_{51}	dy_{51}	dx_1	dy_1
α_{51}	$-\left(\frac{y_{50}-y_{51}}{a_{51-50}^2}\right)$	$\frac{x_{50}-x_{51}}{a_{51-50}^2}$	0	0	0	0

	dx_{49}	dy_{49}	dx_{50}	dy_{50}	dx_{51}	dy_{51}	
α_{50}	$\left(\frac{y_{49}-y_{50}}{a_{50-49}^2}\right)$	$\frac{x_{49}-x_{50}}{a_{50-49}^2}$	$\left(\frac{y_{49}-y_{50}}{a_{50-49}^2}\right)$	$\left(\frac{y_{51}-y_{50}}{a_{50-51}^2}\right)$	$-\left(\left(\frac{x_{48}-x_{49}}{a_{50-51}^2}\right)\left(\frac{x_{50}-x_{49}}{a_{50-51}^2}\right)\right)$	0	0

De esta forma llegamos a la Matriz de , la cual se encuentra conformada de **51 renglones** por **98 columnas**.

Donde los renglones nos indican el número de observaciones (ángulos) y las columnas son las coordenadas incógnitas que corresponden al ajuste en dicha matriz. Es por tal razón, que en estos renglones van colocadas cada una de las ecuaciones a resolver. Aquí estoy indicado como es que se forma la matriz a través de las ecuaciones matemáticas, pero cuando se haga el procedimiento matemático calculando los

CAPITULO IV.- Cálculo de Ajustes.

valores, nosotros encontraremos en lugar de ecuaciones, dentro de cada una de las celdas, los valores numéricos calculados. Como veremos más adelante en el Tema IV.5, en el cual expongo un programa de cálculo de ajustes.

Para que el ajuste este completo, nos hace falta la Matriz de los Pesos de las variables (distancias); el desarrollo de esta matriz lo veremos en el Tema IV.4.

A continuación se mostrará la Matriz "A" o de diseño "A": coeficientes de los ángulos (Fig.17):

	dx_2	dy_2	dx_3	dy_3	...	dx_{49}	dy_{49}	dx_{50}	dy_{50}
α_1	$\rho'' \frac{y_2 - y_1}{d_{1-2}^2}$	$-\rho'' \left(\frac{x_2 - x_1}{d_{1-2}^2} \right)$	0	0	...	0	0	0	0
α_2	$\rho'' \left(\frac{y_1 - y_2}{d_{2-1}^2} \right) \left(\frac{y_3 - y_2}{d_{2-3}^2} \right)$	$-\rho'' \left(\left(\frac{x_1 - x_2}{d_{2-1}^2} \right) \left(\frac{x_3 - x_2}{d_{2-3}^2} \right) \right)$	$\rho'' \frac{y_3 - y_2}{d_{2-3}^2}$	$-\rho'' \left(\frac{x_3 - x_2}{d_{2-3}^2} \right)$	...	0	0	0	0
.
.
.
α_{51}	0	0	0	0	...	0	0	$-\rho'' \left(\frac{y_{51} - y_1}{d_{1-51}^2} \right)$	$\rho'' \frac{x_{51} - x_1}{d_{1-51}^2}$

Fig.17. - Matriz de Diseño "A": coeficientes de los ángulos

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

IV.3.2.- MATRIZ DE DISEÑO “A”: COEFICIENTES DE LAS DISTANCIAS.-

De igual manera que se obtuvo el Modelo Matemático de la Matriz “A”: *coeficientes de los ángulos* para la poligonal del Circuito Universitario, se obtuvo el Modelo Matemático para la Matriz “A”: *coeficientes de las distancias*.

A continuación se muestra el desarrollo del Modelo Matemático :

- Modelo Matemático de la la Matriz “A”: coeficientes de las distancias:

La Matriz “A”: coeficientes de las distancias esta formada por la distancia entre los puntos *i* (BS) y *j* (FS) de cada uno de los vértices $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_{51}$; como se ve a continuación:

	dx102	dy102	dx103	dy103	dx104	dy104	
D₁₂	$\frac{x_2 - x_1}{d_{1-2}^2}$	$\frac{y_2 - y_1}{d_{1-2}^2}$	0	0	0	0	
D₂₃	$-\left(\frac{x_3 - x_2}{d_{2-3}^2}\right)$	$-\left(\frac{y_3 - y_2}{d_{2-3}^2}\right)$	$\frac{x_3 - x_2}{d_{2-3}^2}$	$\frac{y_3 - y_2}{d_{2-3}^2}$	0	0	
d₃₄			$-\left(\frac{x_4 - x_3}{d_{3-4}^2}\right)$	$-\left(\frac{y_4 - y_3}{d_{3-4}^2}\right)$	$\frac{x_4 - x_3}{d_{3-4}^2}$	$\frac{y_4 - y_3}{d_{3-4}^2}$	

El orden de colocación de los valores de las distancias en cada columna- renglón, se determina tomando en cuenta el vértice del cual tratemos y sus puntos *i* (BS) y *j* (FS).

Entonces la Matriz “A”: coeficientes de las distancias(Fig. 18), es de la siguiente manera:

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

	dx_2	dy_2	dx_3	dy_3	dx_4	dy_4	...	dx_{49}	dy_{49}	dx_{50}	dy_{50}
d_{1-2}	$\frac{x_2 - x_1}{d_{1-2}^2}$	$\frac{y_2 - y_1}{d_{1-2}^2}$	0	0	0	0	...	0	0	0	0
d_{2-3}	$-\left(\frac{x_3 - x_2}{d_{2-3}^2}\right)$	$-\left(\frac{y_3 - y_2}{d_{2-3}^2}\right)$	$\frac{x_3 - x_2}{d_{2-3}^2}$	$\frac{y_3 - y_2}{d_{2-3}^2}$	0	0	...	0	0	0	0
d_{3-4}			$-\left(\frac{x_4 - x_3}{d_{3-4}^2}\right)$	$-\left(\frac{y_4 - y_3}{d_{3-4}^2}\right)$	$\frac{x_4 - x_3}{d_{3-4}^2}$	$\frac{y_4 - y_3}{d_{3-4}^2}$	...	0	0	0	0
.
.
.
d_{50-1}	0	0	0	0	0	0	...	0	0	$-\left(\frac{x_1 - x_{50}}{d_{50-1}^2}\right)$	$-\left(\frac{y_1 - y_{50}}{d_{50-1}^2}\right)$

Fig.18. - Matriz "A": coeficientes de las distancias.

TESIS CON
 FALTA DE ORIGEN

EJEMPLO:

Datos:

V	Coordenadas		
	X	Y	Z
1	479519.071	2137674.281	2295.649
2	479551.161	2137409.343	2302.480
3	479703.357	2137254.229	2298.704
4	479628.161	2137206.543	2303.931

$$\rho'' = 206264.8062$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Matriz "A"

* Modelo Matemático:

	dx_2	dy_2	dx_3	dy_3	dx_4	dy_4
α_1	$\rho'' \left(\frac{y_2 - y_1}{d_{1,2}^2} \right)$	$-\rho'' \left(\frac{x_2 - x_1}{d_{1,2}^2} \right)$	0	0	0	0
α_2	$\rho'' \left[\left(\frac{y_3 - y_2}{d_{2,3}^2} \right) - \left(\frac{y_2 - y_1}{d_{1,2}^2} \right) \right]$	$-\rho'' \left[\left(\frac{x_3 - x_2}{d_{2,3}^2} \right) - \left(\frac{x_2 - x_1}{d_{1,2}^2} \right) \right]$	$\rho'' \left(\frac{y_3 - y_2}{d_{2,3}^2} \right)$	$-\rho'' \left(\frac{x_3 - x_2}{d_{2,3}^2} \right)$	0	0
α_3	$-\rho'' \left(\frac{y_2 - y_3}{d_{2,3}^2} \right)$	$\rho'' \left(\frac{x_2 - x_3}{d_{2,3}^2} \right)$	$\rho'' \left[\left(\frac{y_3 - y_1}{d_{1,3}^2} \right) - \left(\frac{y_2 - y_1}{d_{1,2}^2} \right) \right]$	$-\rho'' \left[\left(\frac{x_3 - x_1}{d_{1,3}^2} \right) - \left(\frac{x_2 - x_1}{d_{1,2}^2} \right) \right]$	$\rho'' \left(\frac{y_4 - y_1}{d_{1,4}^2} \right)$	$-\rho'' \left(\frac{x_4 - x_1}{d_{1,4}^2} \right)$

* Solución Numérica

	dx_2	dy_2	dx_3	dy_3	dx_4	dy_4
α_1	-767.2833226	-92.93541063				
α_2	1444.79001	757.6968824	-677.5066876	-664.7614517		
α_3	-677.5066876	-664.7614517	1918.104062	-1291.535158	-1240.597374	1956.29661

IV.4.- RESULTADOS.-

El ajuste completo de la Poligonal en el cálculo de la Red Geodésica del Campus de Ciudad Universitario; incluye aparte de la Matriz A, los siguientes incisos:

- El Vector W.
- La Matriz de Pesos P.
- Solución del Vector X.

Estimaciones cuadráticas:

- Estimación de X.
- Vector Solución Total.
- Vector de Residuales.
- Vector de Observaciones Ajustadas.
- Factor de Varianza.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Para calcular cada una de las matrices y estimaciones cuadráticas de ajuste, se utilizaron los valores de las coordenadas de cada uno de los vértices de la poligonal, las cuales fueron utilizadas para los cálculos de la Matriz A.

A continuación se muestra el cálculo de las matrices y estimaciones cuadráticas, comenzando con la Matriz del Vector W:

➤ Vector W.-

	valores calculados aproximados		valores medidos
1	$\left[\tan^{-1}\left(\frac{\Delta x}{\Delta y} 1 - 2\right) - \tan^{-1}\left(\frac{\Delta x}{\Delta y} 1 - 50\right) \right]$	-	α_1
2	$\left[\tan^{-1}\left(\frac{\Delta x}{\Delta y} 2 - 3\right) - \tan^{-1}\left(\frac{\Delta x}{\Delta y} 2 - 1\right) \right]$	-	α_2
3	$\left[\tan^{-1}\left(\frac{\Delta x}{\Delta y} 3 - 4\right) - \tan^{-1}\left(\frac{\Delta x}{\Delta y} 3 - 2\right) \right]$	-	α_3
4	$\left[\tan^{-1}\left(\frac{\Delta x}{\Delta y} 4 - 5\right) - \tan^{-1}\left(\frac{\Delta x}{\Delta y} 4 - 3\right) \right]$	-	α_4
5	$\left[\tan^{-1}\left(\frac{\Delta x}{\Delta y} 5 - 6\right) - \tan^{-1}\left(\frac{\Delta x}{\Delta y} 5 - 4\right) \right]$	-	α_5
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
51	$\left[\tan^{-1}\left(\frac{\Delta x}{\Delta y} 51 - 1\right) - \tan^{-1}\left(\frac{\Delta x}{\Delta y} 51 - 50\right) \right]$	-	α_{51}
$D_{(m)}$			
d_1	d_{12}		D_{12}
d_2	d_{23}		D_{23}
d_3	d_{34}		D_{34}
d_4	d_{45}		D_{45}
.	.		.
.	.		.
.	.		.
d_{50}	d_{50-1}		D_{50-1}

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

➤ **La Matriz de Pesos P.-**

DATOS:	
Para los ángulos:	$\sigma = 2''$ (min) donde $2''$ se calcula a partir de la serie de ángulos medidos.
Para las distancias:	$\sigma^2 = (0.005)^2 + (0.000005 \times d)^2$ $d =$ distancia. donde $(0.055)^2$ es la Incertidumbre* del aparato; $(0.000005)^2$ representa las partes por millón (ppm)* del aparato.

$1/\sigma^2_{11}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	$1/\sigma^2_{12}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
		$1/\sigma^2_{13}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
			$1/\sigma^2_{14}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
				$1/\sigma^2_{15}$	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
					1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
						1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
							1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
								1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
									1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
										1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
											1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
												1	1	1	1	1	1	1	1	1
													1	1	1	1	1	1	1	1
														1	1	1	1	1	1	1
															1	1	1	1	1	1
																1	1	1	1	1
																	1	1	1	1
																		1	1	1
																			1	1
																				1
																				$1/\sigma^2_{100}$
																				$1/\sigma^2_{101}$

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

➤ Solución del Vector X.-

$$A_{101,98} X_{98,1} + W_{101,1} - V_{101,1} = 0$$

$$\begin{bmatrix} \left(\frac{\partial F\alpha}{\partial x}\right)_{51,98} \\ \left(\frac{\partial Fd}{\partial x}\right)_{50,98} \end{bmatrix}_{X^0,L} \begin{bmatrix} dx_2 \\ dy_2 \\ dx_3 \\ dy_3 \\ dx_4 \\ dy_4 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ dx_{50} \\ dy_{50} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} (F_\alpha(X^0) - L_\alpha)_{51,1} \\ (F_d(X^0) - L_d)_{50,1} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} (V_\alpha)_{51,1} \\ (V_d)_{50,1} \end{bmatrix} = 0$$

Tanto las matrices como las estimaciones cuadráticas de la Solución del Vector X vienen calculadas en el programa (MAT-LAB). A continuación se muestran las operaciones matriciales necesarias para el cálculo de ajustes, que se encuentran programadas:

Estimación de X:

$$X_{100,1} = -\left(A^T P A\right)^{-1} A^T P W$$

Vector Solución Total:

$$X_{100,1} = X^0 + \hat{X}$$

Vector de Residuales:

$$\hat{V}_{101,1} = A x + W$$

Vector de observaciones Ajustadas:

$$\hat{L}_{101,1} = L + \hat{V}$$

Factor de Varianza_{aposteriori}:

$$\hat{\sigma}_o^2 = \frac{\left(\hat{V}^T P \hat{V}\right)}{n-u} = \frac{\hat{V}^T P V}{101-98} = \frac{\hat{V}^T P V}{3}$$

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

CAPITULO V.-

*Calibración de los Receptores Global
Positioning System (GPS)*

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

V.1.- OBSERVACIONES DE CAMPO.-

A continuación se muestran las observaciones que se obtuvieron en campo durante las practicas que se llevaron a cabo para tomar datos; con el fin de tener una red de calibración ajustada dentro del campus universitario de la UNAM:

Estos datos fueron proporcionados por dos compañías: INEGI y LEICA, como ya había mencionado antes.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

➤ Observaciones de Campo de LEICA:

✓ Parámetros:

Nombre	UNAM
Última modificación	25/10/01 18:53
Elipsoide A	WGS 1984
Elipsoide B	CLARKE 1866
Modo de Altura	Elipsoidal
dx	-14.3117
dy	-88.5585
dz	-125.5836

Reporte de Libreta de campo GPS

Trabajo

Nombre del Trabajo: Predeter
 Hora: Resultados en hr. local (GPS + -8.00 hr)
 Versión TR-SKI: 3.0 Versión de proceso Kernel: 0.9

Punto de Referencia

Id de punto: FI

Coordenadas WGS84

X: -961400.812 m
 Y: -5945695.203 m
 Z: 2098724.028 m

Latitud: 19° 19' 51.81676" N
 Longitud: 99° 11' 6.19156" W
 Altura: 2294.008 m

Coordenadas de Cuadrícula:

Este: - m
 Norte: - m
 Altura: - m

Lectura de altura: 1.243 m Offset de anten 0.360 m

Resultados de línea base

Id de punto: 1 Dalias TR Fecha/Hora: 10/25/2001 10:31:15
 Calidad de coordenadas: 0.024 Tipo de operación: Static

Coordenadas WGS84

e.m.c.

Componentes de línea base:

Latitud: 19° 18' 46.96891" N 0.006 m
 Longitud: 99° 10' 19.51242" W 0.007 m
 Alt. Elipsoidal 2288.2783 m 0.022 m
 Distancia inclinada: 2415.9850 m 0.007 m

dLatitud: -1994.7707 m
 dLongitud: 1363.0282 m
 dAlt: -5.2708 m

Lectura de altura: 2.0000 m
 Id de punto: 1 Dalia TR-2
 Calidad de coordenadas: 0.030

Offset de antena: 0.0000 m
 Fecha/Hora: 10/25/2001 11:00:50
 Tipo de operación: Static

Coordenadas WGS84

e.m.c.

Componentes de línea base:

Latitud: 19° 18' 46.96894" N 0.007 m
 Longitud: 99° 10' 19.51239" W 0.009 m
 Alt. Elipsoidal 2288.2783 m 0.027 m
 Distancia inclinada: 2415.9848 m 0.008 m

dLatitud: -1994.7696 m
 dLongitud: 1363.0293 m
 dAlt: -5.2698 m

Lectura de altura: 2.0000 m
 Id de punto: 3 Insurgentes TR
 Calidad de coordenadas: 0.023

Offset de antena: 0.0000 m
 Fecha/Hora: 10/25/2001 11:54:36
 Tipo de operación: Static

CAPITULO V.- Calibración de los Receptores Global Positioning System (GPS).

Coordenadas WGS84		e.m.c.	Componentes de línea base:	
Latitud:	19 ° 18 ' 39.13089 " N	0.010 m	dLatitud:	-2235.8175 m
Longitud:	99 ° 11 ' 12.26438 " W	0.007 m	dLongitud:	-177.3262 m
Alt. Elipsoidal	2309.0611 m	0.020 m	dAlt:	15.4493 m
Distancia inclinada:	2242.8917 m	0.010 m		
Lectura de altura: 2.0000 m			Offset de antena:	0.0000 m
Id de punto:	4 EE TR		Fecha/Hora:	10/25/2001 12:51:50
Calidad de coordenadas:	0.015		Tipo de operación:	Static
Coordenadas WGS84		e.m.c.	Componentes de línea base:	
Latitud:	19 ° 19 ' 3.10403 " N	0.006 m	dLatitud:	-1498.4041 m
Longitud:	99 ° 11 ' 10.68534 " W	0.005 m	dLongitud:	-131.2183 m
Alt. Elipsoidal	2306.8858 m	0.012 m	dAlt:	13.0559 m
Distancia inclinada:	1504.1953 m	0.006 m		
Lectura de altura: 2.0000 m			Offset de antena:	0.0000 m
Id de punto:	5 C Pol TR		Fecha/Hora:	10/25/2001 13:01:43
Calidad de coordenadas:	0.016		Tipo de operación:	Static
Coordenadas WGS84		e.m.c.	Componentes de línea base:	
Latitud:	19 ° 19 ' 1.51383 " N	0.005 m	dLatitud:	-1547.3325 m
Longitud:	99 ° 10 ' 41.48446 " W	0.006 m	dLongitud:	721.4458 m
Alt. Elipsoidal	2292.4904 m	0.014 m	dAlt:	-1.2884 m
Distancia inclinada:	1707.2562 m	0.005 m		
Lectura de altura: 2.0000 m			Offset de antena:	0.0000 m
Id de punto:	6 Cont TR		Fecha/Hora:	10/25/2001 13:45:20
Calidad de coordenadas:	0.037		Tipo de operación:	Static
Coordenadas WGS84		e.m.c.	Componentes de línea base:	
Latitud:	19 ° 19 ' 24.76481 " N	0.008 m	dLatitud:	-832.1197 m
Longitud:	99 ° 10 ' 58.79815 " W	0.011 m	dLongitud:	215.8870 m
Alt. Elipsoidal	2288.2820 m	0.034 m	dAlt:	-5.6679 m
Distancia inclinada:	859.6875 m	0.008 m		
Lectura de altura: 2.0000 m			Offset de antena:	0.0000 m
Id de punto:	9 Estadio 2 TR		Fecha/Hora:	10/25/2001 15:25:43
Calidad de coordenadas:	0.019		Tipo de operación:	Static
Coordenadas WGS84		e.m.c.	Componentes de línea base:	
Latitud:	19 ° 20 ' 1.40946 " N	0.009 m	dLatitud:	295.0473 m
Longitud:	99 ° 11 ' 38.46819 " W	0.006 m	dLongitud:	-842.4761 m
Alt. Elipsoidal	2291.0297 m	0.015 m	dAlt:	-2.9021 m
Distancia inclinada:	987.5842 m	0.007 m		
Lectura de altura: 2.0000 m			Offset de antena:	0.0000 m
Id de punto:	9 Estadio 2 TR		Fecha/Hora:	10/25/2001 15:25:54
Calidad de coordenadas:	0.020		Tipo de operación:	Static
Coordenadas WGS84		e.m.c.	Componentes de línea base:	

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

CAPITULO V.- Calibración de los Receptores Global Positioning System (GPS).

Latitud:	19 ° 20 ' 1.40961 " N	0.010 m	dLatitud:	295.0520 m
Longitud:	99 ° 11 ' 38.46815 " W	0.007 m	dLongitud:	-942.4748 m
Alt. Elipsoida	2291.0289 m	0.016 m	dAlt:	-2.9028 m
Distancia inclinada:	987.5844 m	0.007 m		

Lectura de altura:	2.0000 m	Offset de antena:	0.0000 m
Id de punto:	Estadio	Fecha/Hora:	10/25/2001 15:26:16
Calidad de coordenadas:	0.015	Tipo de operación:	Static

Coordenadas WGS84 e.m.c. Componentes de línea base:

Latitud:	19 ° 20 ' 1.40945 " N	0.007 m	dLatitud:	295.0470 m
Longitud:	99 ° 11 ' 38.46840 " W	0.005 m	dLongitud:	-942.4822 m
Alt. Elipsoida	2291.0286 m	0.012 m	dAlt:	-2.9031 m
Distancia inclinada:	987.5899 m	0.005 m		

Lectura de altura:	2.0000 m	Offset de antena:	0.0000 m
Id de punto:	10 Medicina	Fecha/Hora:	10/25/2001 15:51:55
Calidad de coordenadas:	0.018	Tipo de operación:	Static

Coordenadas WGS84 e.m.c. Componentes de línea base:

Latitud:	19 ° 19 ' 57.98841 " N	0.007 m	dLatitud:	189.8283 m
Longitud:	99 ° 10 ' 43.77839 " W	0.006 m	dLongitud:	654.4632 m
Alt. Elipsoida	2259.8842 m	0.016 m	dAlt:	-34.0876 m
Distancia inclinada:	682.2894 m	0.008 m		

Lectura de altura:	2.0000 m	Offset de antena:	0.0000 m
--------------------	----------	-------------------	----------

Promedio de coordenadas y diferencias

Id de punto: 9 Estadio 2 TR

Coordenadas WGS84
 Latitud: 19 ° 20 ' 1.40953 " N
 Longitud: 99 ° 11 ' 38.46817 " W
 Alt. Elipsoidal 2291.0293 m

FI	Referencia:	Fecha/Hora:	dLat	dLon	dA
		10/25/2001 15:25:43	0.0022	0.0006	-0.0003

FI		10/25/2001 15:25:54	-0.0025	-0.0007	0.0004
----	--	---------------------	---------	---------	--------



➤ Observaciones de Campo de INEGI:

```

=====
GeoLab V2.6a                ITRF 92                UNAM2                UNITS: m,DMS                Page 0001
=====
14:02:35, Wed Nov 28, 2001
    
```

```

INI file:    C:\WINDOWS\GEOLAB.INI
Input file:  C:\UNAM\01\GEOD\321\AJUSTE\UNAM2.IOB
Output file: C:\UNAM\01\GEOD\321\AJUSTE\UNAM2.LST
    
```

PARAMETERS		OBSERVATIONS	
Description	Number	Description	Number
No. of Stations	9	Directions	0
Coord Parameters	24	Distances	0
Free Latitudes	8	Azimuths	0
Free Longitudes	8	Vertical Angles	0
Free Heights	8	Zenithal Angles	0
Fixed Coordinates	3	Angles	0
Astro. Latitudes	0	Heights	0
Astro. Longitudes	0	Height Differences	0
Geoid Records	0	Auxiliary Params.	0
All Aux. Pars.	0	2-D Coords.	0
Direction Pars.	0	2-D Coord. Diffs.	0
Scale Parameters	0	3-D Coords.	0
Constant Pars.	0	3-D Coord. Diffs.	72
Rotation Pars.	0		
Translation Pars.	0		
Total Parameters	24	Total Observations	72
Degrees of Freedom =		48	

SUMMARY OF SELECTED OPTIONS

OPTION	SELECTION
Computation Mode	Adjustment
Maximum Iterations	5
Convergence Criterion	0.00100
Angular Misclosure Limit Factor	2.00
Linear Misclosure Limit Factor	2.00
Confidence Level for Statistics	95.000
Covariance Matrix Computation	Connected Portion Only
Residual Rejection Criterion	Tau Max
Confidence Region Types	2D Station Relative
Relative Confidence Regions	Connected Only
Variance Factor (VF) Known	Yes

CAPITULO V.- Calibración de los Receptores Global Positioning System (GPS).

CMULT (Multiply Parm Cov With VF)	|	Yes
RMULT (Multiply Res Cov With VF)	|	No
Force Convergence in Max Iters	|	No
Distances Affect 3D	|	No
Full Inverse Computed	|	No
Normals Reordered	|	Yes
Coordinates Generated	|	No
Geoid Interpolation Method	|	B1-Quadratic

```

=====
GeoLab V2.6a                ITRF 92                UNAM2                UNITS: m,DMS                Page 0002
=====
Misclosures (pass 1):
TYPE AT                FROM                TO                OBSERVATION                STD.DEV.                MISC
-----
GROUP: OST1EMIA.321,obs#:  4 day 321
DXCT                EST1                SEMI                -151.269                0.002                0.004
DYCT                EST1                SEMI                -668.953                0.002                0.003
DZCT                EST1                SEMI                -1882.152                0.002                -0.010
GROUP: OST2EMIA.321,obs#:  5 day 321
DXCT                EST2                SEMI                -255.942                0.002                0.008
DYCT                EST2                SEMI                -686.793                0.002                0.007
DZCT                EST2                SEMI                -1965.877                0.002                -0.027
GROUP: OST2ST1A.321,obs#:  6 day 321
DXCT                EST2                SEMI                -104.670                0.000                0.001
DYCT                EST2                EST1                -17.839                0.000                0.004
DZCT                EST2                EST1                -83.743                0.000                0.000
GROUP: OEOFST2B.321,obs#:  8 day 321
DXCT                GEOF                EST2                -1829.003                0.002                0.030
DYCT                GEOF                EST2                530.066                0.002                0.008
DZCT                GEOF                EST2                714.133                0.002                0.000
GROUP: OI01EDIB.321,obs#:  9 day 321
DXCT                F101                MEDI                568.659                0.001                -0.002
DYCT                F101                MEDI                -26.738                0.001                0.004
DZCT                F101                MEDI                76.814                0.001                -0.001
GROUP: OI01ST2B.321,obs#:  11 day 321
DXCT                F101                EST2                -1006.851                0.001                0.025
DYCT                F101                EST2                233.865                0.001                0.010
DZCT                F101                EST2                186.309                0.001                -0.002
GROUP: OST2EDIB.321,obs#:  12 day 321
DXCT                EST2                MEDI                1575.502                0.002                -0.020
DYCT                EST2                MEDI                -260.612                0.002                0.002
DZCT                EST2                MEDI                -109.492                0.002                -0.002
GROUP: OALIEOFC.321,obs#:  13 day 321
DXCT                DALI                GEOF                -326.546                0.002                -0.003
DYCT                DALI                GEOF                583.303                0.002                -0.002
DZCT                DALI                GEOF                1447.534                0.002                0.001
GROUP: OI01EOFC.321,obs#:  17 day 321
DXCT                F101                GEOF                822.148                0.001                -0.000
DYCT                F101                GEOF                -296.202                0.001                0.004
DZCT                F101                GEOF                -527.823                0.001                -0.003
GROUP: OI01NIVC.321,obs#:  18 day 321
DXCT                F101                UNIV                265.435                0.002                -0.050
DYCT                F101                UNIV                -860.312                0.002                0.164
DZCT                F101                UNIV                -2279.343                0.002                -0.122
GROUP: OEMINIVD.321,obs#:  19 day 321

```

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

CAPITULO V.- Calibración de los Receptores Global Positioning System (GPS).

DXCT	SEMI	UNIV	1528.153	0.002	-0.009
DYCT	SEMI	UNIV	-407.309	0.002	0.072
DZCT	SEMI	UNIV	-499.891	0.002	0.022
GROUP:	O101EMID.321,obs#:	20 day 321			
DXCT	F101	SEMI	-1262.776	0.002	0.017
DYCT	F101	SEMI	-452.906	0.002	-0.004
DZCT	F101	SEMI	-1779.581	0.002	-0.016
GROUP:	O101NIVD.321,obs#:	21 day 321			
DXCT	F101	UNIV	265.379	0.002	0.006
DYCT	F101	UNIV	-860.226	0.002	0.079
DZCT	F101	UNIV	-2279.453	0.002	-0.012
GROUP:	ORONEMID.321,obs#:	23 day 321			
DXCT	FRON	SEMI	-1223.244	0.002	0.025
DYCT	FRON	SEMI	-300.956	0.002	-0.003
DZCT	FRON	SEMI	-1255.711	0.002	-0.014
GROUP:	ORONNIVD.321,obs#:	24 day 321			
DXCT	FRON	UNIV	305.058	0.002	-0.132
DYCT	FRON	UNIV	-708.249	0.002	0.052

UNAM2

GeoLab V2.6a ITRF 92 UNITS: m,DMS Page 0003

Misclosures (pass 1):

TYPE AT	FROM	TO	OBSERVATION	STD.DEV.	MISC
DZCT	FRON	UNIV	-1755.611	0.002	0.017

UNAM2

GeoLab V2.6a ITRF 92 UNITS: m,DMS Page 0004

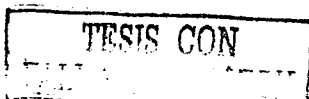
Solution (pass 2):

NAME	TYPE		OLD VALUE		CORRECTION		UPDATED VALUE
DALI	ELAT	N 19 18	46.96958	0 0	0.00000	N 19 18	46.96958
DALI	ELON	W 99 10	19.50762	0 0	0.00000	W 99 10	19.50762
DALI	EHT		2288.176		0.000		2288.176
EST1	ELAT	N 19 19	58.47071	0 0	0.00000	N 19 19	58.47071
EST1	ELON	W 99 11	41.90444	0 0	0.00000	W 99 11	41.90444
EST1	EHT		2295.545		0.000		2295.545
EST2	ELAT	N 19 20	1.40917	0 0	0.00000	N 19 20	1.40917
EST2	ELON	W 99 11	38.46346	0 0	0.00000	W 99 11	38.46346
EST2	EHT		2290.871		0.000		2290.871
FRON	ELAT	N 19 19	37.18666	0 0	0.00000	N 19 19	37.18666
FRON	ELON	W 99 11	3.65222	0 0	0.00000	W 99 11	3.65222
FRON	EHT		2269.431		0.000		2269.431
GEOF	ELAT	N 19 19	37.01228	0 0	0.00000	N 19 19	37.01228
GEOF	ELON	W 99 10	33.73230	0 0	0.00000	W 99 10	33.73230
GEOF	EHT		2272.777		0.000		2272.777
MEDI	ELAT	N 19 19	57.98846	0 0	0.00000	N 19 19	57.98846
MEDI	ELON	W 99 10	43.77430	0 0	0.00000	W 99 10	43.77430
MEDI	EHT		2260.045		0.000		2260.045
SEMI	ELAT	N 19 18	53.36613	0 0	0.00000	N 19 18	53.36613
SEMI	ELON	W 99 11	43.35725	0 0	0.00000	W 99 11	43.35725
SEMI	EHT		2318.684		0.000		2318.684
UNIV	ELAT	N 19 18	36.33037	0 0	0.00000	N 19 18	36.33037
UNIV	ELON	W 99 10	49.47273	0 0	0.00000	W 99 10	49.47273
UNIV	EHT		2302.529		0.000		2302.529

CAPITULO V.- Calibración de los Receptores Global Positioning System (GPS).

GeoLab V2.6a		ITRF 92		UNAM2		UNITS: m,DMS		Page 0005	
Adjusted NEO Coordinates:									
CODE	FFF	STATION	NORTHING		EASTING		O-HEIGHT		
			STD DEV		STD DEV		STD DEV		MAPPROJ
NEO	000	9001	2135474.990		481922.143		2288.176	UTM	14
			0.015		0.015		0.015		
NEO	000	9002	2137675.247		479520.188		2295.545	UTM	14
			0.008		0.008		0.008		
NEO	000	9003	2137765.453		479620.689		2290.871	UTM	14
			0.008		0.008		0.008		
NEO	111	FI01	2137565.473		480650.955		2295.328	UTM	14
			0.000		0.000		0.000		
NEO	000	FRON	2137019.822		480635.598		2269.431	UTM	14
			0.008		0.008		0.008		
NEO	000	GEOF	2137013.554		481508.615		2272.777	UTM	14
			0.008		0.008		0.008		
NEO	000	9004	2137658.593		481216.269		2260.045	UTM	14
			0.007		0.007		0.007		
NEO	000	9005	2135674.194		479475.541		2318.684	UTM	14
			0.013		0.013		0.013		
NEO	000	9006	2135148.866		481047.388		2302.529	UTM	14
			0.013		0.013		0.013		

GeoLab V2.6a		ITRF 92		UNAM2		UNITS: m,DMS		Page 0006	
Adjusted PLH Coordinates:									
CODE	FFF	STATION	LATITUDE		LONGITUDE		ELIP-HEIGHT		
			STD DEV		STD DEV		STD DEV		
PLH	000	DALI	N 19 18	46.96958	W 99 10	19.50762	2288.176		
				0.015		0.015	0.015		
PLH	000	EST1	N 19 19	58.47071	W 99 11	41.90444	2295.545		
				0.008		0.008	0.008		
PLH	000	EST2	N 19 20	1.40917	W 99 11	38.46346	2290.871		
				0.008		0.008	0.008		
PLH	111	FI01	N 19 19	54.93958	W 99 11	3.14582	2295.328		
				0.000		0.000	0.000		
PLH	000	FRON	N 19 19	37.18666	W 99 11	3.65222	2269.431		
				0.008		0.008	0.008		
PLH	000	GEOF	N 19 19	37.01228	W 99 10	33.73230	2272.777		
				0.008		0.008	0.008		
PLH	000	MEDI	N 19 19	57.98846	W 99 10	43.77430	2260.045		
				0.007		0.007	0.007		
PLH	000	SEMI	N 19 18	53.36613	W 99 11	43.35725	2318.684		
				0.013		0.013	0.013		
PLH	000	UNIV	N 19 18	36.33037	W 99 10	49.47273	2302.529		
				0.013		0.013	0.013		



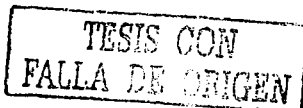
CAPITULO V.- Calibración de los Receptores Global Positioning System (GPS).

GeoLab V2.6a		ITRF 92		UNAM2		UNITS: m,DMS		Page 0007	
=====									
Geoid Values:									
CODE	NAME	N/S DEFLECTION			E/W DEFLECTION			UNDULATION	

GEOI	DALI	+	0	0	0.0	+	0	0	0.00
GEOI	EST1	+	0	0	0.0	+	0	0	0.00
GEOI	EST2	+	0	0	0.0	+	0	0	0.00
GEOI	FI01	+	0	0	0.0	+	0	0	0.00
GEOI	FRON	+	0	0	0.0	+	0	0	0.00
GEOI	GEOF	+	0	0	0.0	+	0	0	0.00
GEOI	MEDI	+	0	0	0.0	+	0	0	0.00
GEOI	SEMI	+	0	0	0.0	+	0	0	0.00
GEOI	UNIV	+	0	0	0.0	+	0	0	0.00

GeoLab V2.6a		ITRF 92		UNAM2		UNITS: m,DMS		Page 0008	
=====									
Residuals (critical value = 3.398):									
TYPE AT	FROM	TO	OBSERVATION		RESIDUAL		STD RES		
			STD DEV	STD DEV	STD DEV	PPM			

GROUP: OI01EMIA.321,obs#:	1 day 321								
DXCT	FI01	SEMI	-1262.75970	-0.009	-4.360				
			0.002	0.002	4.03				
			~~~~~						
DYCT	FI01	SEMI	-452.91000	0.003	1.501				
			0.002	0.002	1.39				
DZCT	FI01	SEMI	-1779.59710	0.019	9.270				
			0.002	0.002	8.56				
			~~~~~						
GROUP: OI01ST1A.321,obs#:	2 day 321								
DXCT	FI01	EST1	-1111.49440	-0.011	-10.694				
			0.001	0.001	9.38				
			~~~~~						
DYCT	FI01	EST1	216.04080	-0.006	-5.762				
			0.001	0.001	5.05				
			~~~~~						
DZCT	FI01	EST1	102.56430	0.001	0.801				
			0.001	0.001	0.70				
			~~~~~						
GROUP: OI01ST2A.321,obs#:	3 day 321								
DXCT	FI01	EST2	-1006.82550	-0.009	-10.469				
			0.001	0.001	8.99				
			~~~~~						
DYCT	FI01	EST2	233.87580	-0.002	-2.195				
			0.001	0.001	1.88				
DZCT	FI01	EST2	186.30690	0.001	0.743				
			0.001	0.001	0.64				
			~~~~~						
GROUP: OST1EMIA.321,obs#:	4 day 321								



**CAPITULO V.- Calibración de los Receptores Global Positioning System (GPS).**

DXCT	EST1	SEMI	-151.26930	0.006	3.188
			0.002	0.002	2.84
DYCT	EST1	SEMI	-668.95350	0.012	6.466
			0.002	0.002	5.76
DZCT	EST1	SEMI	-1882.15190	0.009	4.922
			0.002	0.002	4.38
GROUP: OST2EMIA.321,obs#:	5	day 321			
DXCT	EST2	SEMI	-255.94190	0.008	4.317
			0.002	0.002	3.89
DYCT	EST2	SEMI	-686.79250	0.012	6.223
			0.002	0.002	5.61
DZCT	EST2	SEMI	-1965.87660	-0.009	-4.752
			0.002	0.002	4.28
GROUP: OST2ST1A.321,obs#:	6	day 321			
DXCT	EST2	EST1	-104.67030	0.000	0.000*
			0.000	0.000	1.31
DYCT	EST2	EST1	-17.83890	0.000	0.000*
			0.000	0.000	0.99
DZCT	EST2	EST1	-83.74250	0.000	0.000*
			0.000	0.000	0.21
GROUP: OEOFEDIB.321,obs#:	7	day 321			
DXCT	GEOF	MEDI	-253.49150	-0.002	-4.391
			0.001	0.000	2.86
DYCT	GEOF	MEDI	269.46450	0.003	6.349
			0.001	0.000	4.13

UNAM2

GeoLab V2.6a ITRF 92 UNITS: m,DMS Page 0009

Residuals (critical value = 3.398):

TYPE	AT	FROM	TO	OBSERVATION STD DEV	RESIDUAL STD DEV	STD RES PMM
DZCT		GEOF	MEDI	604.63930	-0.001	-2.313
				0.001	0.000	1.50
GROUP: OEOFST2B.321,obs#:	8	day 321				
DXCT		GEOF	EST2	-1829.00320	0.014	7.324
				0.002	0.002	6.88
DYCT		GEOF	EST2	530.06620	0.015	7.667
				0.002	0.002	7.20
DZCT		GEOF	EST2	714.13290	-0.002	-1.069
				0.002	0.002	1.00
GROUP: OI01EDIB.321,obs#:	9	day 321				
DXCT		FI01	MEDI	568.65860	0.002	6.622
				0.001	0.000	3.75
DYCT		FI01	MEDI	-26.73790	-0.002	-5.192
				0.001	0.000	2.94

**CAPITULO V.- Calibración de los Receptores Global Positioning System (GPS).**

DZCT	FI01	MEDI	76.81410	0.001	2.598
			0.001	0.000	1.47
GROUP: OI01EOFB.321, obs#:	10	day 321			
DXCT	FI01	GEOF	822.14790	0.006	7.243
			0.001	0.001	6.25
DYCT	FI01	GEOF	-296.19830	-0.009	-9.897
			0.001	0.001	8.54
DZCT	FI01	GEOF	-527.82610	0.003	3.193
			0.001	0.001	2.75
GROUP: OI01ST2B.321, obs#:	11	day 321			
DXCT	FI01	EST2	-1006.85060	0.016	17.370
			0.001	0.001	14.91
DYCT	FI01	EST2	233.86550	0.008	9.229
			0.001	0.001	7.92
DZCT	FI01	EST2	186.30870	-0.001	-1.253
			0.001	0.001	1.08
GROUP: OST2EDIB.321, obs#:	12	day 321			
DXCT	EST2	MEDI	1575.50210	-0.006	-4.407
			0.002	0.001	4.00
DYCT	EST2	MEDI	-260.61160	-0.002	-1.245
			0.002	0.001	1.13
DZCT	EST2	MEDI	-109.49150	-0.001	-0.774
			0.002	0.001	0.70
GROUP: OALIEOFC.321, obs#:	13	day 321			
DXCT	DALI	GEOF	-326.54550	-0.016	-12.735
			0.002	0.001	10.04
DYCT	DALI	GEOF	583.30270	0.027	21.316
			0.002	0.001	16.81
DZCT	DALI	GEOF	1447.53440	-0.005	-3.752
			0.002	0.001	2.96
GROUP: OALINIVC.321, obs#:	14	day 321			

UNAM2

GeoLab V2.6a

ITRF 92

UNITS: m, DMS

Page 0010

Residuals (critical value = 3.398):

TYPE	AT	FROM	TO	OBSERVATION STD DEV	RESIDUAL STD DEV	STD RES PPM
DXCT		DALI	UNIV	-883.31220	0.008	17.884
				0.001	0.000	8.80
DYCT		DALI	UNIV	19.35160	-0.015	-31.940
				0.001	0.000	15.72
DZCT		DALI	UNIV	-304.10410	0.003	6.162
				0.001	0.000	3.03
GROUP: OEOFNIVC.321, obs#:	15	day 321				
DXCT		GEOF	UNIV	-556.76540	0.023	13.421



CAPITULO V.- Calibración de los Receptores Global Positioning System (GPS).

			0.002	0.002	11.93
DYCT	GEOF	UNIV	-563.94790	-0.045	-26.150
			0.002	0.002	23.24
DZCT	GEOF	UNIV	-1751.64200	0.011	6.466
			0.002	0.002	5.75
GROUP: OI01ALIC.321,obs#:	16	day 321			
DXCT	FI01	DALI	1148.69710	0.019	8.321
			0.002	0.002	7.63
DYCT	FI01	DALI	-879.49890	-0.038	-16.747
			0.002	0.002	15.36
DZCT	FI01	DALI	-1975.36130	0.008	3.708
			0.002	0.002	3.40
GROUP: OI01EOFC.321,obs#:	17	day 321			
DXCT	FI01	GEOF	822.14830	0.006	6.789
			0.001	0.001	5.86
DYCT	FI01	GEOF	-296.20190	-0.005	-5.809
			0.001	0.001	5.01
DZCT	FI01	GEOF	-527.82280	-0.000	-0.554
			0.001	0.001	0.48
GROUP: OI01NIVC.321,obs#:	18	day 321			
DXCT	FI01	UNIV	265.43550	-0.024	-10.287
			0.002	0.002	9.66
DYCT	FI01	UNIV	-860.31160	0.112	48.641
			0.002	0.002	45.70
DZCT	FI01	UNIV	-2279.34320	-0.111	-48.225
			0.002	0.002	45.31
GROUP: OEMINIVD.321,obs#:	19	day 321			
DXCT	SEMI	UNIV	1528.15320	0.027	20.978
			0.002	0.001	16.45
DYCT	SEMI	UNIV	-407.30900	0.016	12.534
			0.002	0.001	9.83
DZCT	SEMI	UNIV	-499.89070	0.014	11.133
			0.002	0.001	8.73

UNAM2

GeoLab V2.6a

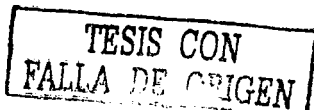
ITRF 92

UNITS: m,DMS

Page 0011

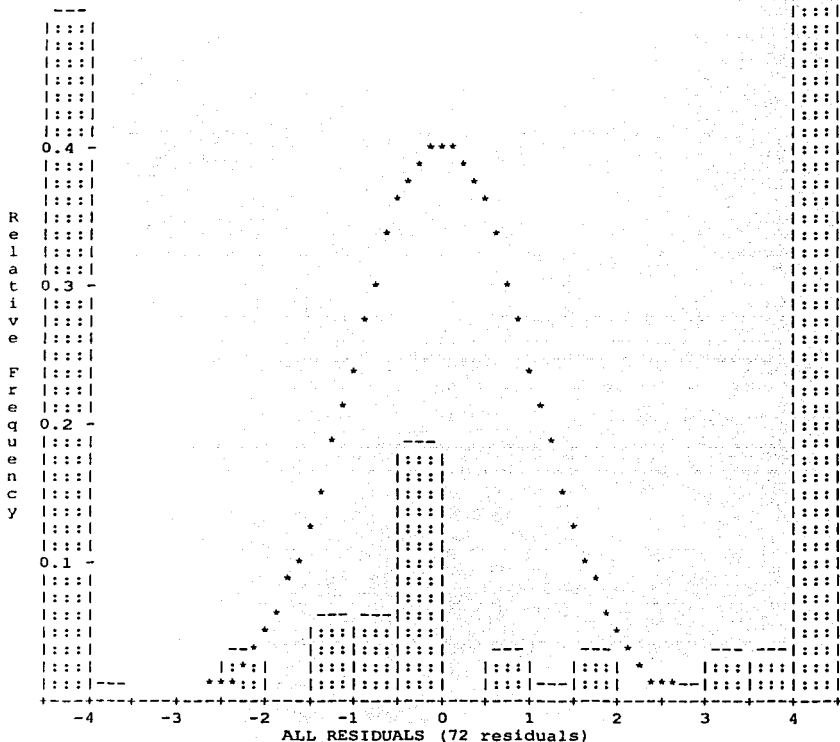
Residuals (critical value = 3.398):

TYPE	AT	FROM	TO	OBSERVATION STD DEV	RESIDUAL STD DEV	STD RES PPM
GROUP: OI01EMID.321,obs#:	20	day 321				
DXCT	FI01	SEMI		-1262.77620	0.008	3.657
				0.002	0.002	3.38



CAPITULO V.- Calibración de los Receptores Global Positioning System (GPS).

DYCT	FI01	SEMI	-452.90580	-0.001	-0.539
			0.002	0.002	0.50
DZCT	FI01	SEMI	-1779.58070	0.003	1.303
			0.002	0.002	1.20
GROUP: OI01NIVD.321,obs#:	21	day 321			
DXCT	FI01	UNIV	265.37890	0.033	14.295
			0.002	0.002	13.43
DYCT	FI01	UNIV	-860.22640	0.027	11.637
			0.002	0.002	10.93
DZCT	FI01	UNIV	-2279.45340	-0.001	-0.364
			0.002	0.002	0.34
GROUP: OI01ROND.321,obs#:	22	day 321			
DXCT	FI01	FRON	-39.54080	-0.006	-32.404
			0.001	0.000	11.01
DYCT	FI01	FRON	-151.95050	-0.000	-0.235
			0.001	0.000	0.08
DZCT	FI01	FRON	-523.87150	0.002	12.654
			0.001	0.000	4.30
GROUP: ORONEMID.321,obs#:	23	day 321			
DXCT	FRON	SEMI	-1223.24380	0.022	14.435
			0.002	0.002	12.34
DYCT	FRON	SEMI	-300.95630	-0.000	-0.043
			0.002	0.002	0.04
DZCT	FRON	SEMI	-1255.71120	0.002	1.531
			0.002	0.002	1.31
GROUP: ORONNIVD.321,obs#:	24	day 321			
DXCT	FRON	UNIV	305.05820	-0.100	-59.126
			0.002	0.002	51.92
DYCT	FRON	UNIV	-708.24860	-0.000	-0.274
			0.002	0.002	0.24
DZCT	FRON	UNIV	-1755.61130	0.026	15.565
			0.002	0.002	13.67



TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

-----

S T A T I S T I C S      S U M M A R Y

-----

Residual Critical Value Type	Tau Max
Residual Critical Value	3.3978
Number of Flagged Residuals	49
Convergence Criterion	0.0010
Final Iteration Counter Value	2
Confidence Level Used	95.0000
Estimated Variance Factor	228.5272
Number of Degrees of Freedom	48

-----

Chi-Square Test on the Variance Factor:

1.5892e+02 < 1.0000 < 3.5667e+02 ?

***** THE TEST FAILS *****

-----

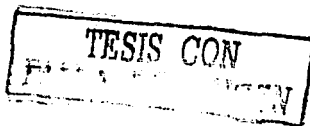
-----

NOTE: All confidence regions were computed using the following factors:

Variance factor used	=	228.5272
2-D expansion factor	=	2.4477

Note that, for relative confidence regions, precisions are computed from the ratio of the major semi-axis and the spatial distance between the two stations.

-----



CAPITULO V.- Calibración de los Receptores Global Positioning System (GPS).

```

=====
UNAM2
GeoLab V2.6a          ITRF 92          UNITS: m,DMS          Page 0014
=====
2-D and 1-D Station Confidence Regions (95.000 percent):
STATION      MAJOR SEMI-AXIS  AZ      MINOR SEMI-AXIS      VERTICAL
-----
DALI          0.036  0          0.036                0.029
EST1         0.020  0          0.020                0.016
EST2         0.020  0          0.020                0.016
FRON         0.019  0          0.019                0.015
GEOF         0.019  0          0.019                0.015
MEDI         0.018  0          0.018                0.014
SEMI         0.032  0          0.032                0.025
UNIV         0.031  0          0.031                0.025
=====

```

```

=====
UNAM2
GeoLab V2.6a          ITRF 92          UNITS: m,DMS          Page 0015
=====
2-D and 1-D Relative Station Confidence Regions (95.000 percent):
FROM      TO      MAJ-SEMI  AZ  MIN-SEMI  VERTICAL  DISTANCE  PPM
-----
DALI      FI01    0.036    0    0.036    0.029    2448.500    14.72
DALI      GEOF    0.036   157    0.036    0.029    1594.446    22.75
DALI      UNIV    0.030   157    0.030    0.024    934.386     32.21
EST1      EST2    0.005   157    0.005    0.004    135.229    36.76
EST1      FI01    0.020    0    0.020    0.016    1136.941    17.78
EST1      SEMI    0.034   157    0.034    0.027    2003.204    16.82
EST2      FI01    0.020    0    0.020    0.016    1050.297    18.98
EST2      GEOF    0.026   157    0.026    0.021    2033.758    12.76
EST2      MEDI    0.025   157    0.025    0.020    1600.654    15.48
EST2      SEMI    0.034   157    0.034    0.027    2098.065    16.01
FI01      FRON    0.019    0    0.019    0.015    546.893     34.80
FI01      GEOF    0.019    0    0.019    0.015    1020.918    18.72
FI01      MEDI    0.018    0    0.018    0.014    574.448     30.50
FI01      SEMI    0.032    0    0.032    0.025    2228.589    14.19
FI01      UNIV    0.031    0    0.031    0.025    2450.775    12.67
FRON      SEMI    0.034   157    0.034    0.027    1778.666    19.19
FRON      UNIV    0.034   157    0.034    0.027    1917.471    17.70
GEOF      MEDI    0.020   157    0.020    0.016    708.843     28.11
GEOF      UNIV    0.033   157    0.033    0.026    1922.566    16.95
SEMI      UNIV    0.038   157    0.038    0.030    1658.644    22.96
=====

```

14:02:36, Wed Nov 28, 2001

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

➤ Resumen de Observaciones de Campo de LEICA:



**Resumen**  
**POSICIONAMIENTO GPS: L E I C A**

ARCHIVO: UNAM  
 SOFTWARE: Sky Pro  
 WGS 84  
 UNITS: m,DMS

VERTICE	LATITUD	LONGITUD	ALTURA
1 Dalia	19° 18' 46.96904" N	99° 10' 19.51263" W	2288.2620
10 Medicina	19° 19' 57.98841" N	99° 10' 43.77839" W	2259.8842
2 Universum	19° 18' 36.32903" N	99° 10' 49.47806" W	2302.6018
3 Insurgentes	19° 18' 39.13080" N	99° 11' 12.26412" W	2309.0874
4 E Escultorico	19° 19' 03.10342" N	99° 11' 10.68542" W	2306.8532
5 C Politicas	19° 19' 01.51367" N	99° 10' 41.48470" W	2292.4732
6 Contaduria	19° 19' 24.76467" N	99° 10' 58.79837" W	2288.2649
7 Seminario	19° 18' 53.36649" N	99° 11' 43.36203" W	2318.9009
8 Estadio 1	19° 19' 58.47026" N	99° 11' 41.90887" W	2295.7247
8 Seminario	19° 18' 53.36684" N	99° 11' 43.36083" W	2318.9029
9 Estadio 2	19° 20' 01.40938" N	99° 11' 38.46810" W	2291.0205
FI	19° 19' 51.81675" N	99° 11' 06.19154" W	2294.0080
FI (2)	19° 19' 51.81675" N	99° 11' 06.19154" W	2294.0080
P02CH	19° 29' 12.71255" N	98° 53' 21.73214" W	2242.1395
P03CH	19° 26' 25.21192" N	99° 05' 06.75606" W	2249.9699

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN



**Resumen**

**POSICIONAMIENTO GPS: L E I C A**

ARCHIVO: UNAM  
 SOFTWARE: Sky Pro  
 NAD 27  
 UNITS: m,DMS

VERTICE	LATITUD	LONGITUD	ALTURA
1 Dalia	19° 18' 46.96701" N	99° 10' 19.51306" W	2287.9324
10 Medicina	19° 19' 57.99006" N	99° 10' 43.77846" W	2259.5546
2 Universum	19° 18' 36.32645" N	99° 10' 49.47804" W	2302.2723
3 Insurgentes	19° 18' 39.12837" N	99° 11' 12.26376" W	2308.7579
4 E Escultorico	19° 19' 03.10223" N	99° 11' 10.68508" W	2306.5236
5 C Politicas	19° 19' 01.51240" N	99° 10' 41.48480" W	2292.1437
6 Contaduria	19° 19' 24.76460" N	99° 10' 58.79821" W	2287.9353
7 Seminario	19° 18' 53.36480" N	99° 11' 43.36121" W	2318.5714
8 Estadio 1	19° 19' 58.47193" N	99° 11' 41.90806" W	2295.3952
8 Seminario	19° 18' 53.36514" N	99° 11' 43.36000" W	2318.5734
9 Estadio 2	19° 20' 01.41121" N	99° 11' 38.46734" W	2290.6910
FI	19° 19' 51.81808" N	99° 11' 06.19127" W	2293.6785
FI (2)	19° 19' 51.81808" N	99° 11' 06.19127" W	2293.6785
PO2CH	19° 29' 12.74285" N	98° 53' 21.74773" W	2241.8102
PO3CH	19° 26' 25.23357" N	99° 05' 06.76115" W	2249.6409



**Resumen**

POSICIONAMIENTO GPS: L E I C A

ARCHIVO: UNAM  
SOFTWARE: Sky Pro  
UTM Nad 27  
UNITS: m,DMS

VERTICE	LATITUD	LONGITUD	ALTURA
1 Dalia	481921.7139	2135347.273	2287.9324
10 Medicina	481215.8670	2137530.891	2259.5546
2 Universum	481046.9497	2135021.124	2302.2723
3 Insurgentes	480382.1082	2135107.946	2308.7579
4 E Escultorico	480428.9696	2135844.735	2306.5236
5 C Politicas	481281.0049	2135794.975	2292.1437
6 Contaduria	480776.5408	2136510.160	2287.9353
7 Seminario	479475.1185	2135546.505	2318.5714
8 Estadio 1	479519.7762	2137547.533	2295.3952
8 Seminario	479475.1536	2135546.515	2318.5734
9 Estadio 2	479620.2709	2137637.759	2290.6910
FI	480561.7026	2137341.882	2293.6785
FI (2)	480561.7026	2137341.882	2293.6785
P02CH	511609.2336	2154575.410	2241.8102
P03CH	491055.2243	2149425.409	2249.6409

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN



➤ Resumen de Observaciones de Campo de INEGI:



**Resumen**

POSICIONAMIENTO GPS: I N E G I

ARCHIVO: UNAM3  
 SOFTWARE: GeoLab V2.6a  
 ITRF 92  
 UNITS: m,DMS

VERTICE	LATITUD	LONGITUD	ALTURA
DALI	N 19 18 46.96958	W 99 10 19.50762	2288.176
EST1	N 19 19 58.47071	W 99 11 41.90444	2295.545
EST2	N 19 20 1.40917	W 99 11 38.46346	2290.871
FRON	N 19 19 37.18666	W 99 11 3.65222	2269.431
GEOF	N 19 19 37.01228	W 99 10 33.7323	2272.777
MEDI	N 19 19 57.98846	W 99 10 43.7743	2260.045
SEMI	N 19 18 53.36613	W 99 11 43.35725	2318.684
UNIV	N 19 18 36.33037	W 99 10 49.47273	2302.529

Los anteriores resúmenes muestran las coordenadas de los todos los vértices que fueron posicionados con equipo GPS durante las practicas, una vez terminado el post-proceso.

Las coordenadas que aparecen en el recuadro, son las coordenadas de los vértices que pertenecen a la poligonal topográfica que define la red geográfica ajustada. Estas coordenadas son coordenadas geográficas, sin embargo, a través de un programa proporcionado por el Ing. Raymundo Arvizú, las coordenadas geográficas fueron transformadas a coordenadas topocéntricas, y de esta manera se hizo el ajuste de red geodésica a través de las matrices de cálculo de ajustes por mínimos cuadrados (las cuales fueron programadas en el compilador MAT-LAB, ver apéndice).



Los resúmenes solo nos muestra los resultados de las coordenadas que fueron almacenadas en el receptor durante los posicionamientos.

En el siguiente sub-capitulo se mostrarán únicamente los resultados de los cuatro vértices ajustados por el método de mínimos cuadrados, que pertenecen a la red geodésica; además de los resultados de las coordenadas de los vértices que conforman la red geodésica ajustada del circuito universitario en el campus de la Universidad Nacional Autónoma de México.

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

**V.2.- RESULTADOS.-**

Tabla de resultados de las coordenadas ajustadas de los cuatro vértices pertenecientes a la red geodésica del campus universitario (UNAM):

	<b>TABLA DE RESULTADOS POSICIONAMIENTO GPS COORDENADAS TOPOCENTRICAS ( X , Y ) CUATRO VÉRTICES GEODESICOS</b>			
UNITS: m				
VERTICE	X	Y	Z	
EST1	479519.071	2137674.281	2295.649	
EST2	479619.531	2137764.689	2290.949	
MEDI	481216.426	2137659.428	2259.881	
F1 (Edificio B)	480562.002	2137469.639	2293.930	

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

Tabla de resultados de las coordenadas ajustadas de 51 los vértices pertenecientes a la red geodésica del campus universitario (UNAM):



**TABLA DE RESULTADOS  
POSICIONAMIENTO GPS  
COORDENADAS TOPOCENTRICAS ( X , Y )  
VÉRTICES DE LA RED GEODESICA DEL CIRCUITO UNIVERSITARIO (UNAM)**

UNITS: m,DMS

Vértice	X	Y	Z	Descripción
1	479519.071	2137674.28	2295.649	Estadio1
2	479551.130	2137409.34	2302.480	
3	479703.357	2137254.23	2298.704	
4	479628.161	2137206.54	2303.931	
5	479566.710	2137130.11	2302.100	
6	479576.091	2136897.12	2303.581	
7	479595.696	2136739.42	2308.861	
8	479578.720	2136613.74	2314.910	
9	479573.935	2136561.74	2315.366	
10	479609.542	2136507.47	2312.955	
11	479679.224	2136515.61	2309.134	
12	479777.251	2136655.86	2300.162	
13	479892.023	2136720.67	2291.370	
14	480037.279	2136713.64	2290.173	
15	480072.868	2136671.32	2290.667	
16	480086.595	2136483.60	2300.688	
17	480143.938	2136239.37	2304.968	
18	480153.665	2136017.15	2307.952	
19	480261.509	2135998.14	2301.109	
20	480430.703	2135971.12	2306.863	
21	480716.471	2135955.03	2306.270	
22	481041.769	2135895.05	2301.964	
23	481234.548	2135903.18	2294.346	
24	481283.428	2135922.31	2292.537	
25	481413.165	2135940.96	2286.264	
26	481518.000	2136044.30	2280.146	
27	481507.407	2136216.64	2276.984	
28	481471.122	2136502.1	2270.110	
29	481502.484	2136706.76	2271.585	
30	481622.131	2136799.10	2268.943	

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



**RESULTADOS  
POSICIONAMIENTO GPS  
COORDENADAS TOPOCENTRICAS ( X , Y )  
VÉRTICES DE LA RED GEODESICA DEL CIRCUITO UNIVERSITARIO (UNAM)**

UNITS: m,DMS

Vértice	X	Y	Z	Descripción
31	481651.056	2136925.20	2264.752	
32	481600.666	2136985.85	2263.848	
33	481589.824	2137146.53	2262.930	
34	481569.265	2137226.77	2263.629	
35	481411.280	2137472.69	2261.144	
36	481254.469	2137519.08	2265.906	
37	481246.159	2137614.43	2261.365	
38	481216.426	2137659.43	2259.881	Medicina
39	481225.451	2137814.25	2258.721	
40	481125.431	2137833.63	2259.505	
41	480891.025	2137923.58	2263.515	
42	480776.665	2137937.97	2265.418	
43	480557.901	2137911.87	2268.838	
44	480131.241	2137850.31	2280.444	
45	480029.676	2137741.14	2281.703	
46	479904.230	2137794.63	2283.692	
47	479619.531	2137764.69	2290.949	Estadio2
48	480562.002	2137469.64	2293.930	
49	480650.788	2137565.62	2295.474	
50	481231.925	2137610.09	2262.089	Edificio B
51	481216.426	2137659.43	2259.881	

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

### V.3.- PROGRAMA PARA EL CÁLCULO DE AJUSTES DE LA RED GEODÉSICA DEL CAMPUS DE CIUDAD UNIVERSITARIA (UNAM).-

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

Compilador: MAT LAB

Programa: Cálculo de Ajustes de la Red Geodésica del Campus de Ciudad  
Universitaria (UNAM)

Programador(a): Patricia Gutiérrez Arredondo

Programación: El programa consiste en el cálculo de ajustes de la red geodésica; una vez terminado los posicionamientos respectivos y haber obtenido las coordenadas ya ajustadas, estas son utilizadas para la red geodésica.

La red geodésica esta conformada por una poligonal topográfica, la cual contiene 51 vértices, de los cuales sólo 4 son vértices geodésicos. Entonces, la poligonal tiene como datos conocidos azimuts de las líneas que la conforman y sus distancias respectivas, estos datos son utilizados dentro del programa. Dicho programa nos proporciona cada una de las matrices que vimos en los capítulos anteriores, como son:

- La Matriz "A".
- El Vector W.
- La Matriz de Pesos P.
- Solución del Vector X.

TESIS CON  
 FALLA DE ORIGEN

- Estimación:

$$X_{100,1} = -(A^T P A)^{-1} A^T P W$$

- Vector Solución Total:

$$X_{100,1} = X^0 + \hat{X}$$

- Vector de Residuales:

$$\hat{V}_{101,1} = A \hat{x} + W$$

- Vector de observaciones Ajustadas:

$$\hat{L}_{101,1} = L + \hat{V}$$

- Factor de Varianza:

$$\hat{\sigma}_o^2 = \frac{\left( \hat{V}^T P \hat{V} \right)}{n - u} = \frac{\hat{V}^T P V}{101 - 98} = \frac{\hat{V}^T P V}{3}$$

Dicho programa nos proporcionó mayor efectividad y rapidez en el cálculo de ajustes por mínimos cuadrados de los vértices de la red geodésica.

Ya que una vez terminados los posicionamientos y cada uno de los post-procesos para obtener las coordenadas de los vértices de la poligonal (red geodésica); se requirió de estas para el ajuste de la red geodésica. Como vimos el ajuste consistió en formar matrices elaboradas, como fueron: la matriz A, la matriz del vector W, la matriz de los Pesos, la Solución del Vector X y las matrices correspondientes de las Estimaciones cuadráticas. Así mismo, el ajuste requirió de operaciones con dichas matrices y así obtener la red geodésica ajustada. La objeción que se presentó realizando el ajuste, fue precisamente la gran cantidad de datos que se requerían, y las operaciones matriciales necesarias, esto provocó que el ajuste, fuera lento, causando desorden, y proporcionando resultados dudosos. Fue por estas razones que el ajuste por el método de mínimos cuadrados requirió de la elaboración de un programa, que nos permitiera manejar gran cantidad de datos los cuales estuvieran organizados y que el tiempo para realizar las operaciones matriciales con esa cantidad de datos tan grande, no fuera tardada sino casi instantánea. El compilador matemático que se adecuó a las necesidades requeridas, fue el MAT-LAB, el cual es un compilador que trabaja a través de operaciones matriciales, o sea que todo lo que se programe en dicho compilador es a través de cálculos matriciales (ver Apéndice).



---

---

**CAPITULO VI.-**

*Conclusiones*

TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN

## VI.- Conclusiones.

Lo que se estableció en los capítulos anteriores, es precisamente, para entender que cualquier trabajo que se realice y se requiera ubicar sobre la superficie terrestre, es necesario contar con un sistema de referencia.

Una red geodésica puede servir como malla de referencia y así poder localizar puntos (vértices geodésicos) en la Tierra. Para esto es necesario conocer los sistemas de coordenadas, los más utilizados son: los sistemas de coordenadas Topocéntrico y Geocéntrico.

Este tesis nos presenta una red geodésica, que además de proporcionamos un sistema de referencia, nos proporciona cuatro vértices geodésicos de precisión, los cuales se ajustaron por el método de mínimos cuadrados; que sirven para trabajos de calibración y ajuste de aparatos receptores GPS.

El objetivo fundamental de la tesis fue el establecimiento de la red geodésica de calibración del campus de Ciudad Universitaria (UNAM), y el cálculo de ajustes por el método de mínimos cuadrados para ajustar la red. Así que para obtener el ajuste de coordenadas se llevo a cabo lo siguiente:

### a) Descripción del proceso:

La importancia de la Red Geodésica, como la estructura que va a dar la calidad en la georreferencia de puntos sobre la superficie terrestre y calibración de aparatos receptores GPS.

### b) Planeación

- Selección de los vértices: Materializar físicamente cada uno de los vértices geodésicos.
- Ubicar los vértices de la red geodésica de calibración.

## VI.- Conclusiones.

- Nominar cada vértice con nombres asociados a su ubicación física.
  - Para el posicionamiento utilizar el Datum WGS-84 o ITRF92
  - Usar receptores GPS de doble frecuencia.
- c) Estrategias:
- Materializar físicamente cada uno de los vértices geodésicos implementando:
    - 1.- marcas geodésicas
  - Ubicar los vértices de la red de referencia sin obstrucciones:
    - 1.- Evitar la ubicación de vértices que se encuentren cercanos a estaciones de radar o microondas, repetidoras y líneas eléctricas de alto voltaje, que puedan originar interferencia.
  - Nominar cada vértice con nombres asociados a la ubicación:
    - 1.- Nombre de: las avenidas, calles principales, edificios, facultades, etc.
  - Utilizar el Datum WGS-84 o ITRF92.
    - 1.- La proyección será la Universal Transverse Mercator o UTM
    - 2.- Las coordenadas de la red geodésica deberá ser expresada en coordenadas geodésicas y UTM.
- d) Resultados:
- Procesamiento de datos: en los modos post-proceso, se utilizará software específico. Las soluciones menores a 40 km de las sesiones de procesamiento de líneas bases deben ser completamente fijas (FIX) y para

## VI.- Conclusiones.

- las líneas bases superiores a 40 km., se pueden incluir soluciones flotantes (FLOTA).
- Generar un informe técnico que contenga por lo menos descripción del proyecto, objetivos, planillas de vértices definitivas (una por vértice), gráfico de la red con sus líneas bases, vértices de control, modos GPS utilizados, estaciones bases, cronograma del proyecto, mediciones, matriz de varianza – covarianza (método para el ajuste ), personal que participo, características de los receptores, software, equipo de computo, software, inconvenientes y recomendaciones.
  - El cálculo de ajustes por el método de mínimos cuadrados de la red geodésica del campus de Ciudad Universitaria (UNAM).
    - 1.- Para el cual se desarrollo un programa, y el calculo sea más rápido y con mayor exactitud. EL compilador usado es MAT-LAB: (Ver apéndice).

La red geodésica fue establecida utilizando la poligonal topográfica, en la cual se posicionaron cuatro vértices geodésicos bases, y a través de estos, se realizo el ajuste por el método de mínimos cuadrados. Toda la red se ajusto estableciendo los cuatro vértices geodésicos fijos, y al realizar los cálculos matriciales, la red quedó ajustada.

Es importante hacer notar, que las coordenadas obtenidas durante el posicionamiento geodésico (con equipo GPS), fueron coordenadas crudas (sin ningún ajuste), estas coordenadas son las proporcionadas por los satélites o sea coordenadas geográficas, por tanto, para que se llevará a cabo el ajuste de la red geodésica, las coordenadas geográficas ( $\phi, \lambda$ ) fueron transformadas a coordenadas topocéntricas (X, Y), a través de un programa

## VI.- Conclusiones.

que proporcionó el M.I. Raymundo Arvizú Díaz (Profesor de la Facultad de Ingeniería de la UNAM). Esta transformación aplicó para cada uno de los vértices de la poligonal (51 vértices).

La red geodésica ajustada esta basada en una poligonal topográfica, la cual las coordenadas X,Y; estan perfectamente bien establecidos, no siendo lo mismo para las alturas (h), por tanto recomiendo, realizar una nivelación de precisión, para obtener alturas precisas y de esta manera completar la red geodésica del campus universitario (UNAM); en sus tres planos. Siendo la nivelación de precisión otro tema de tesis a elaborar.

Dentro del proceso de cálculo de ajustes para obtener la red geodésica de campus universitario (UNAM) totalmente ajustada, tomamos como factor de varianza^{aportador}. Igual a 1 y este valor debe verificarse con una prueba de hipótesis estadística; por tal motivo esta prueba queda fuera del contexto de la tesis, ya que esta prueba se hace a través de un análisis estadístico. Dando lugar nuevamente a otro tema de tesis.

Esta red geodésica se estableció como red de calibración para equipos GPS y red de referencia, también se presentan otras aplicaciones que se le puede dar a una red geodésica: como es en topografía, en redes de agua potable, vías telefónicas, vialidad; transporte y alumbrado público, prevención de desastres y protección civil, planeación y desarrollo urbano, catastro urbano y rural, etc.

Se espera que este trabajo, sirva para dar mayor conocimiento en cuanto a como llevar a cabo el establecimiento de un red geodésica y a su vez, como se realiza el ajuste matemático que nos proporcionará una red geodésica de calibración.

---

---

**APÉNDICE.-**

---

---

## REFERENCIAS.-

## Referencias.

---

### Bibliografía.-

1. M.I. Arvízu, D .R.; Teoría de Cálculo y Ajustes; 1970.
2. Ajustes de la Red Geodésica de Calibración.
3. INEGI; Manual de la Brigada de Geodesia; México; 1999.
4. Krakiwsky E .J. y & D.E. Wells (DETENAL); Sistemas de Coordenadas en Geodesia; México; 1978.
5. Ricardus N.; Project Sourveing.
6. Bomford, G.; Geodesy; 1971.
7. Mailing, D.H.; Coordinate Systems and Map Projection; George Philip and Son, London; 1973.
8. INEGI; La Nueva Red Geodésica Nacional; México, 1995.
9. American Society of Civil Engineers, American Congress of Surveing and mapping, American Society for photogrammetry and Remote Sensing; "Glossary of the mapping Science".



## Referencias.

---

### Otras Fuentes de Información.-

9. [www.mundogps.com](http://www.mundogps.com)
10. <http://iit.jalisco.gob.mx/html/sitios>
11. <http://es.geocities.com/joserbasan/trabajo2.htm>
12. [www.mrn.gouv.qc.ca/espanol/territoire/pericia-geodesia.jsp](http://www.mrn.gouv.qc.ca/espanol/territoire/pericia-geodesia.jsp)
13. [www.leica.com](http://www.leica.com)
14. [www.gis.psu.edu/geog121/surv/trilateration.html](http://www.gis.psu.edu/geog121/surv/trilateration.html)
15. [www.cmtinc.com/gpsbook](http://www.cmtinc.com/gpsbook)
16. [www.trimble.com/gps](http://www.trimble.com/gps)
17. [www.wgs84.com](http://www.wgs84.com)