

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**DETERMINACIÓN DEL TIEMPO DE VISADO
PARA OBSERVACIONES SATELITALES
CON GPS DE ALTA PRECISIÓN**

TESIS

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

DAVID CÓNDOR GARCÍA

Lima - Perú

2012

Digitalizado por:

**Consortio Digital del
Conocimiento MebLatam,
Hemisferio y Dalse**

DEDICATORIA

A Dios, por su dirección, favor y fortaleza oportuna en todos los momentos de mi vida.

A mis padres, Daniel y Rosalina, por su apoyo incondicional.

A mi tío Filemón, por ser socio de todos mis proyectos.

AGRADECIMIENTOS

A la empresa SERVIG XCVI S.A.C. y su Director Gerente José R. Zamora Gonzales, por la confianza cedida en el préstamo de los receptores GPS.

Al MSc. Jorge Mendoza Dueñas, asesor de tesis, por el apoyo y comprensión. Su disposición a enseñar y orientar me motivó a proseguir.

Al Ing. Ralfo Herrera Rosado, co-asesor de tesis, por transmitirme sus investigaciones y experiencias como geodesta.

A mi familia, Tabita, Jonatán, Esther, Jimmy, Nadine, Melina y Paolo, por animarme constantemente.

A todas las personas que ayudaron directa o indirectamente en la realización de la tesis.

A la Universidad Nacional de Ingeniería, por ser mi "Alma Máter".

David Cóndor García

ÍNDICE

RESUMEN.....	3
LISTA DE TABLAS	4
LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS	11
INTRODUCCIÓN.....	14
CAPÍTULO I: GENERALIDADES	16
1.1. RESEÑA HISTÓRICA.....	16
1.2. GEODESIA	19
1.3. ESFERA CELESTE	25
1.4. PROYECCIONES CARTOGRÁFICAS.....	26
1.5. TIPOS DE COORDENADAS USADAS EN GEODESIA.....	29
1.6. SISTEMAS GEODÉSICOS DE REFERENCIA	31
1.7. SISTEMA GLOBAL DE NAVEGACIÓN SATELITAL.....	34
1.8. GPS EN EL PERÚ	45
CAPÍTULO II: EL TIEMPO	56
2.1. EL TIEMPO.....	56
2.2. ESCALAS DEL TIEMPO.....	56
2.3. RELOJES Y FRECUENCIA ESTÁNDAR.....	64
CAPÍTULO III: DESARROLLO	66
3.1. DISTRIBUCIÓN DE LOS VÉRTICES GEODÉSICOS O PUNTOS GPS	66
3.2. EQUIPOS UTILIZADOS.....	72
3.3. TIPOS DE SOFTWARE UTILIZADOS	74
3.4. PLANEAMIENTO DE LAS OBSERVACIONES GPS	74
3.5. PROCESAMIENTO DE OBSERVACIONES GPS.....	76
3.5.1. Método diferencial - estático	76
3.5.2. Descripción de las observaciones GPS.....	76
3.5.3. Post-proceso con el software Topcon Tools.....	83
3.5.4. Reportes post-proceso del software Topcon Tools.....	83
3.5.5. Servicios de posicionamiento vía web.....	95

3.5.6. Reportes de posicionamiento vía web.....	99
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS	105
4.1. ANÁLISIS POST-PROCESO	105
4.1.1. Resultado del análisis	106
4.1.2. Resumen de los puntos GPS analizados	116
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	123
5.1. CONCLUSIONES	123
5.2. RECOMENDACIONES	126
BIBLIOGRAFÍA.....	127
ANEXOS	128

RESUMEN

El principal objetivo del presente trabajo de tesis es determinar el tiempo mínimo de las observaciones satelitales con GPS de alta precisión a diferentes distancias de línea base (vector desplazamiento) entre dos receptores GPS.

Las observaciones satelitales con los receptores GPS se realizaron con el método diferencial estático, donde el primer receptor GPS llamado base, ocupó un punto de coordenadas conocidas (coordenadas absolutas). El punto conocido está asociado con el receptor GPS que funciona de manera continua en el sistema de estaciones de rastreo permanente (ERP) del Instituto Geográfico Nacional del Perú (IGN). El segundo receptor denominado rover, ocupará un punto de coordenadas por conocer, en la investigación se ocuparon 10 puntos con observaciones de duración variable y distancias de línea base de aproximadamente 1 km hasta los 500 km.

Estos dos receptores deben observar el mismo conjunto de satélites simultáneamente. Las observaciones satelitales se almacenan en los receptores GPS. El archivo de datos del receptor base se adquirió del IGN, mientras del rover se descargó en una computadora utilizando el software PC-CDU.

El post-proceso utilizó el software comercial Topcon Tools. El análisis de los reportes del Topcon Tools permitió determinar el tiempo mínimo en cada punto GPS, generándose 10 pares ordenados (distancia de línea base y tiempo mínimo). Se discriminó 4 pares ordenados para el ajuste de curva obteniendo una función de tercer grado con variable independiente (distancia de línea base) y variable dependiente (tiempo).

Esta función servirá como una referencia al momento de realizar mediciones GPS, se recomienda que la distancia de línea base no supere los 210 km.

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. 1.	Parámetros del elipsoide de revolución.	22
Tabla 1. 2.	Elipsoides más usados.	23
Tabla 1. 3.	Clasificación de las proyecciones.	27
Tabla 1. 4.	Principales sistemas locales.	32
Tabla 1. 5.	Algunos sistemas geocéntricos.	33
Tabla 3. 1.	Distribución de puntos GPS.	66
Tabla 3. 2.	Clasificación del DOP.	75
Tabla 3. 3.	Descripción de la observación GPS en el punto 1.	78
Tabla 3. 4.	Descripción de la observación GPS en el punto 2.	78
Tabla 3. 5.	Descripción de la observación GPS en el punto 3 (receptor Hiper+)	79
Tabla 3. 6.	Descripción de la observación GPS en el punto 3 (receptor GR-3)	79
Tabla 3. 7.	Descripción de la observación GPS en el punto 4.	80
Tabla 3. 8.	Descripción de la observación GPS en el punto 5.	80
Tabla 3. 9.	Descripción de la observación GPS en el punto 6.	81
Tabla 3. 10.	Descripción de la observación GPS en el punto 7.	81
Tabla 3. 11.	Descripción de la observación GPS en el punto 8.	82
Tabla 3. 12.	Descripción de la observación GPS en el punto 9.	82
Tabla 3. 13.	Descripción de la observación GPS en el punto 10.	82
Tabla 3. 14.	Clasificación de los levantamientos geodésicos	83
Tabla 3. 15.	Reporte post-proceso del punto 1 (receptor Hiper+).....	84
Tabla 3. 16.	Reporte post-proceso del punto 2 (receptor Hiper+).....	85
Tabla 3. 17.	Reporte post-proceso del punto 3 (receptor Hiper+).....	86
Tabla 3. 18.	Reporte post-proceso del punto 3 (receptor GR-3).....	86
Tabla 3. 19.	Reporte post-proceso del punto 4 (receptor Hiper+).....	88
Tabla 3. 20.	Reporte post-proceso del punto 5 (receptor GR-3).....	89
Tabla 3. 21.	Reporte post-proceso del punto 6 (receptor GR-3).....	90
Tabla 3. 22.	Reporte post-proceso del punto 7 (receptor GR-3).....	91
Tabla 3. 23.	Reporte post-proceso del punto 8 (receptor GR-3).....	92
Tabla 3. 24.	Reporte post-proceso del punto 9 (receptor GR-3).....	93
Tabla 3. 25.	Reporte post-proceso del punto 10 (receptor GR-3).....	94

Tabla 3. 26.	Resumen de reportes de posicionamiento del OPUS (Coordenadas Cartesianas).....	100
Tabla 3. 27.	Resumen de reportes de posicionamiento del OPUS (Coordenadas Geodésicas).....	100
Tabla 3. 28.	Resumen de reportes de posicionamiento del OPUS (Coordenadas UTM).....	101
Tabla 3. 29.	Resumen de reportes de posicionamiento del AUSPOS (Coordenadas Cartesianas).....	101
Tabla 3. 30.	Resumen de reportes de posicionamiento del AUSPOS (Coordenadas Geodésicas).....	102
Tabla 3. 31.	Resumen de reportes de posicionamiento del CSRS-PPP (Coordenadas Geodésicas).....	102
Tabla 3. 32.	Resumen de reportes de posicionamiento del CSRS-PPP (Coordenadas UTM).....	103
Tabla 3. 33.	Resumen de reportes de posicionamiento del IBGE-PPP (Coordenadas Geodésicas).....	103
Tabla 3. 34.	Resumen de reportes de posicionamiento del APPS (Coordenadas Geodésicas).....	104
Tabla 4. 1.	Análisis de la observación satelital en el punto 1.....	106
Tabla 4. 2.	Análisis de la observación satelital en el punto 2.....	107
Tabla 4. 3.	Análisis de la observación satelital en el punto 3.....	108
Tabla 4. 4.	Análisis de la observación satelital en el punto 4.....	109
Tabla 4. 5.	Análisis de la observación satelital en el punto 5.....	110
Tabla 4. 6.	Análisis de la observación satelital en el punto 6.....	111
Tabla 4. 7.	Análisis de la observación satelital en el punto 7.....	112
Tabla 4. 8.	Análisis de la observación satelital en el punto 8.....	113
Tabla 4. 9.	Análisis de la observación satelital en el punto 9.....	114
Tabla 4. 10.	Análisis de la observación satelital en el punto 10.....	115
Tabla 4. 11.	Tiempo mínimo de todos los puntos GPS.....	116
Tabla 4. 12.	Puntos GPS considerados en el ajuste de la curva de tiempo mínimo.....	117
Tabla 4. 13.	Comparación de coordenadas UTM del software de post- procesamiento Topcon Tools y los servicios de posicionamiento vía web (OPUS y CSRS-PPP).....	122

Tabla 5. 1.	Valores de tiempo mínimo-distancia de línea base (1 km hasta 210 km).....	123
Tabla 5. 2.	Valores de tiempo mínimo-distancia de línea base (10 km hasta 50 km).....	123
Tabla 5. 3.	Valores de tiempo mínimo-distancia de línea base (1 km hasta 10 km).....	124

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. 1.	Forma de la Tierra.....	16
Figura 1. 2.	Principales relaciones entre campos geodésicos de la enseñanza y la investigación.....	19
Figura 1. 3.	La Tierra constituía solamente por agua y sin presencia de movimiento de rotación.	20
Figura 1. 4.	Efecto del movimiento de rotación en la Tierra.	20
Figura 1. 5.	Imágenes del geoide en diferentes años.	21
Figura 1. 6.	Elipsoide de revolución.....	22
Figura 1. 7.	Relación entre la altura ortométrica (H), altura elipsoidal (h), ondulación Geoidal (N) y desviación de la vertical (Θ).....	24
Figura 1. 8.	Punto Datum.	24
Figura 1. 9.	Esfera terrestre y esfera celeste.	25
Figura 1. 10.	Proyección Mercator.....	28
Figura 1. 11.	Proyección Transversa de Mercator.	28
Figura 1. 12.	Proyección Universal Transversa de Mercator.	28
Figura 1. 13.	Zonas generadas por la proyección UTM.	29
Figura 1. 14.	Coordenadas cartesianas o geocéntricas.	30
Figura 1. 15.	Coordenadas geodésicas.	30
Figura 1. 16.	Sistema Local (geoide y tres elipsoides).....	32
Figura 1. 17.	Sistema geocéntrico.	33
Figura 1. 18.	Posicionamiento por satélite utilizando un marco de referencia ECEF.....	34
Figura 1. 19.	Estructura de la señal Galileo, GPS y GLONASS.....	43
Figura 1. 20.	Red Geodésica Geocéntrica Nacional (REGGEN)	49
Figura 1. 21.	Red Geodésica Horizontal Clásica.	50
Figura 1. 22.	Estaciones de Rastreo Permanente (ERP).....	52
Figura 1. 23.	Red de Estaciones SIRGAS (1995).....	54
Figura 1. 24.	Estaciones SIRGAS en el Perú (1995 y 2000).....	55
Figura 2. 1.	Definición de Tiempo Sideral.....	57
Figura 2. 2.	Escalas de tiempo.	63
Figura 3. 1.	Punto BASE	67
Figura 3. 2.	Punto 1.....	67
Figura 3. 3.	Punto 2.....	68

Figura 3. 4.	Punto 3.....	68
Figura 3. 5.	Punto 4.....	69
Figura 3. 6.	Punto 5.....	69
Figura 3. 7.	Punto 6.....	70
Figura 3. 8.	Punto 7.....	70
Figura 3. 9.	Punto 8.....	71
Figura 3. 10.	Punto 9.....	71
Figura 3. 11.	Punto 10.....	72
Figura 3. 12.	Brújula marca BRUNTON.....	72
Figura 3. 13.	Eclímetro de mano marca ABNEY.....	72
Figura 3. 14	Receptor GPS diferencial de doble frecuencia, marca TRIMBLE, modelo Net R5, con una antena externa tipo Zephyr Geodetic 2.....	73
Figura 3. 15.	Receptor GPS diferencial de doble frecuencia, marca TOPCON y modelo Hiper+	73
Figura 3. 16.	Receptor GPS diferencial de multifrecuencia, marca TOPCON y modelo GR-3	73
Figura 3. 17	Una computadora portátil.	74
Figura 3. 18.	Altura inclinada y vertical; Hiper+ y GR-3	77
Figura 3. 19.	Desviación estándar horizontal del punto 1-Tiempo de observación de todas las sesiones	84
Figura 3. 20.	Desviación estándar horizontal del punto 2-Tiempo de observación de todas las sesiones	85
Figura 3. 21.	Desviación estándar horizontal del punto 3-Tiempo de observación de todas las sesiones (receptor Hiper+)	87
Figura 3. 22.	Desviación estándar horizontal del punto 3-Tiempo de observación de todas las sesiones (receptor GR-3)	87
Figura 3. 23.	Desviación estándar horizontal del punto 4-Tiempo de observación de todas las sesiones	88
Figura 3. 24.	Desviación estándar horizontal del punto 5-Tiempo de observación de todas las sesiones	89
Figura 3. 25.	Desviación estándar horizontal del punto 6-Tiempo de observación de todas las sesiones	90
Figura 3. 26.	Desviación estándar horizontal del punto 7-Tiempo de observación de todas las sesiones	91

Figura 3. 27.	Desviación estándar horizontal del punto 8-Tiempo de observación de todas las sesiones	92
Figura 3. 28.	Desviación estándar horizontal del punto 9-Tiempo de observación de todas las sesiones	93
Figura 3. 29.	Desviación estándar horizontal del punto 10-Tiempo de observación de todas las sesiones	94
Figura 4. 1.	Desviación estándar horizontal del punto 1-Tiempo de observación	106
Figura 4. 2.	Desviación estándar horizontal del punto 2-Tiempo de observación	107
Figura 4. 3.	Desviación estándar horizontal del punto 3-Tiempo de observación	108
Figura 4. 4.	Desviación estándar horizontal del punto 4-Tiempo de observación	109
Figura 4. 5.	Desviación estándar horizontal del punto 5-Tiempo de observación	110
Figura 4. 6.	Desviación estándar horizontal del punto 6-Tiempo de observación	111
Figura 4. 7.	Desviación estándar horizontal del punto 7-Tiempo de observación	112
Figura 4. 8.	Desviación estándar horizontal del punto 8-Tiempo de observación	113
Figura 4. 9.	Desviación estándar horizontal del punto 9-Tiempo de observación	114
Figura 4. 10.	Desviación estándar horizontal del punto 10-Tiempo de observación	115
Figura 4. 11.	Tiempo de observación-Distancia de línea base (todos los puntos GPS)	116
Figura 4. 12.	Tiempo de observación-Distancia de línea base (puntos considerados en el ajuste de curva)	117
Figura 4. 13.	Ajuste de la curva tiempo mínimo de observación	118
Figura 4. 14.	Curva tiempo mínimo de observación (distancia de línea base hasta 210 km)	119
Figura 4. 15.	Curva tiempo mínimo de observación (distancia de línea base hasta 50 km)	120

Figura 4. 16. Curva tiempo mínimo de observación (distancia de línea base hasta 10 km)..... 121

LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS

SÍMBOLOS

σ	desviación estándar
km	kilómetro
m	metro
mm	milímetro
h	hora
min	minuto
s	segundo
ms	milisegundo
MHz	megahertz

SIGLAS

APPS	Servicio Automático de Posicionamiento Preciso
ARP	Punto de Referencia de la Antena
AUSPOS	Servicio de Procesamiento GPS en Línea
BIPM	Oficina Internacional de Pesos y Medidas
CDMA	Acceso Múltiple por División de Código
CSRS-PPP	Sistema de Referencia Espacial Canadiense y el Servicio Global de Procesamiento de GPS en línea – Posicionamiento por Punto Preciso
CTP	Polo Terrestre Convencional
DGPS	GPS Diferencial
DoD	Departamento de Defensa de EE.UU.
DOP	Dilución de la Precisión
EGNOS	Sistema Europeo Complementario Geoestacionario de Navegación
ERP	Estaciones de Rastreo Permanente
ET	Tiempo Efemérides
FDMA	Acceso Múltiple por División de Frecuencia
GAST	Tiempo Sideral Aparente de Greenwich
GMST	Tiempo Sideral Medio de Greenwich
GMT	Tiempo Meridiano de Greenwich

GNSS	Sistema Global de Navegación por Satélite
GPS	Sistema de Posicionamiento Global
GRS80	Sistema Geodésico de Referencia 1980
IAG	Asociación Internacional de Geodesia
IAU	Unión Astronómica Internacional
IBGE-PPP	Instituto Brasileiro de Geografía y Estadística - Posicionamiento por Punto Preciso o Punto Absoluto Preciso
ICRF	Marco Internacional de Referencia Celeste
IERS	Servicio Internacional de Rotación de la Tierra
IGN	Instituto Geográfico Nacional del Perú
IGP	Instituto Geofísico del Perú
IGS	Servicio Internacional de GNSS
IPGH	Instituto Panamericano de Geografía e Historia
ITRF	Marco Internacional de Referencia Terrestre
JD	Fecha Juliana
JPL	Laboratorio de Propulsión a Chorro
KNITs	Centro de Coordinación de Información Científica
LAST	Tiempo Sideral Aparente Local
LMST	Tiempo Sideral Medio Local
MCS	Estación de Control Maestro
MEO	Órbita Terrestre Media
MIT	Instituto de Tecnología Massachusetts
MJD	Fecha Juliana Modificada
MTSAT	Satélite Multifuncional de Transporte
NAVSTAR	Satélites de Navegación Tiempo y Distancia
NGS	Servicio Geodésico Nacional de EE.UU.
NIMA	Agencia Nacional de Mapas e Imágenes de EE.UU.
NMM	Nivel Medio del Mar
OPUS	Servicio de Posicionamiento del Usuario en Línea
PSAD56	Datum Provisional Sudamericano 1956
REGGEN	Red Geodésica Geocéntrica Nacional del Perú
RINEX	Formato de Intercambio Independiente del Receptor
RPM	Registro Público de Minería
SA	Disponibilidad Selectiva
SCOUT	Herramienta de Actualización de Coordenadas Scripps

SHMM	Marca de Medición de Altura Inclinada
SI	Sistema Internacional de Unidades
SIRGAS	Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas
TAI	Tiempo Atómico Internacional
TDT	Tiempo Dinámico Terrestre
TT	Tiempo Terrestre
UNI	Universidad Nacional de Ingeniería
USNO	Observatorio Naval de los Estados Unidos
UT	Tiempo Universal
UTC	Tiempo Universal Coordinado
UTM	Universal Transversa de Mercator
VLBI	Interferometría de línea Base Muy Larga
WAAS	Sistema de Aumentación de Área Amplia
WGS84	Sistema Geodésico Mundial 1984

INTRODUCCIÓN

Los Sistemas Globales de Navegación por Satélite (GNSS) como el GPS y GLONASS, americano y ruso respectivamente, han cambiado dramáticamente la forma que los topógrafos, profesionales GIS, ingenieros realicen las mediciones de las coordenadas de posición. Ahora se pueden determinar las coordenadas de un punto con una alta precisión con respecto a un punto de control situado a varios kilómetros de distancia.

Esta manera de medir las coordenadas de un punto, denominada método diferencial estático, consiste en observar y calcular una línea base (vector desplazamiento) entre dos receptores GPS, el receptor base, ubicado en el punto de control de coordenadas conocidas o absolutas y el receptor rover instalado en un punto de coordenadas por conocer. Estos dos receptores deben observar el mismo conjunto de satélites simultáneamente. Entonces en la estación base se puede saber el error en la medida del GPS (coordenadas navegadas y coordenadas absolutas), comparando la distancia de los satélites a los receptores y la línea base de los receptores, se asume que el error es el mismo. Con ese error se puede corregir las coordenadas navegadas de la estación rover.

En la presente tesis, el punto de control asociado con el receptor base, está operando continuamente y pertenece al sistema de estaciones de rastreo permanente (ERP) del Instituto Geográfico Nacional del Perú (IGN) que conforman la red de puntos de control activos de la Red Geodésica Geocéntrica Nacional (REGGEN).

El problema surge debido al tiempo de observación satelital, se recomienda de 2 a 4 horas, en el caso de los puntos de control GPS con fines de aplicación en los proyectos de ingeniería civil (precisión orden C), sin embargo no existe una tabla que relacione distancias de línea base (distancia de la base al rover) y tiempo de observación en el Perú.

La tesis determinará el tiempo mínimo de observación satelital que requieren los receptores por punto de control GPS de acuerdo a la distancia entre los receptores, utilizando una estación de rastreo permanente como estación base. Las mediciones en cada punto GPS fijarán coordenadas geodésicas de orden C, resultados del post-proceso de datos del software Topcon Tools. También se

empleará los servicios de posicionamiento vía web OPUS, AUSPOS, CSRS-PPP, IBGE-PPP, APPS.

En el Capítulo I, se describe la evolución de la geodesia, desde sus inicios con los grandes filósofos griegos hasta el nacimiento de la geodesia satelital con el lanzamiento del primer satélite artificial SPUTNIK-1, así como su vertiginoso desarrollo. Del mismo modo contiene los conceptos relevantes de la geodesia y cartografía. El Capítulo II, define profundamente el tiempo y sus diferentes escalas. En el Capítulo III, se hace referencia al desarrollo de la tesis, como la ubicación de los puntos GPS, los equipos utilizados, el planeamiento de las observaciones satelitales, el método de observación satelital y el post-procesamiento de los datos. El Capítulo IV, explica el análisis de los resultados del post-proceso, a fin de determinar el tiempo mínimo de observación satelital para las diferentes distancias de línea base, también se hace una comparación con los resultados de servicio de posicionamiento vía web. En el Capítulo V, se mencionan las conclusiones y recomendaciones. Por último se hace referencia a la bibliografía y los anexos.

El receptor GPS de doble frecuencia utilizado como rover, será ubicado de acuerdo a la distancia del vector línea base, con una distancia aproximada de 1, 5, 10, 20, 50, 100, 150, 200, 300 y 500 kilómetros. El receptor GPS fue prestado por la empresa SERVIG XCVI S.A.C. con la intercesión del asesor y co-asesor garantizando la investigación. Agradezco el respaldo y la confianza brindada.

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1. RESEÑA HISTÓRICA

Desde tiempos muy remotos el hombre se ha planteado interrogantes tales como ¿Cuál es la forma de la Tierra?, ¿cuáles son sus dimensiones? Los antiguos griegos, entre ellos Pitágoras (540 a. C.) y los seguidores de Aristóteles (384-322 a. C.) creían que la Tierra era esférica y habían especulado acerca de su circunferencia. Eratóstenes (200 a.C.), director de la biblioteca del Museo de Alejandría, realizó la primera medición de la circunferencia de la Tierra, no obstante actualmente se cree que los resultados obtenidos fueron afortunados, ya que existieron elementos de juicio equivocados en esa determinación, a pesar de los cuales la medición del tamaño de la Tierra fue un importante progreso para la época.

Durante la Edad Media, los estudios sobre la forma de la Tierra y sus dimensiones fueron abandonados. Una nueva época comenzó después que la ley de gravitación universal fuera enunciada por Newton (siglo XVII).

Newton (Inglaterra) postuló que la Tierra debería tener una forma de esferoide aplastada en los Polos (Figura 1. 1) debido al movimiento de rotación terrestre que genera una fuerza centrífuga normal al eje, que adquiere un valor máximo en el Ecuador hasta anularse en los Polos. Partiendo de la suposición que nuestro planeta en otros tiempos estuvo en un estado de líquido incandescente.

Cassini (Francia) a partir de mediciones erróneas anuncia un esferoide alargado en los polos (Figura 1. 1) Se produce entonces una fuerte controversia entre ambos científicos.

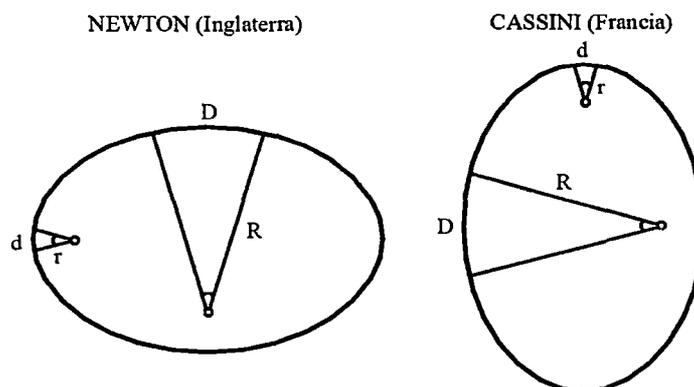


Figura 1. 1. Forma de la Tierra.

Fuente: Huerta, Eduardo y otros (2005)

A su vez Snellius (Holanda) inicia una nueva etapa en la geodesia al introducir el método de triangulación en los trabajos geodésicos, superando así las dificultades que ofrecían las mediciones de distancias sobre la superficie terrestre, produciendo además un considerable aumento en las precisiones.

En el siglo XVIII se resuelve la controversia a partir de dos expediciones geodésicas que realiza la Academia de Ciencias de París: la primera a Laponia cercana a la latitud 66°; otra al Perú cercana al Ecuador. Los resultados de estas expediciones confirmaron la concepción de Newton.¹

El lanzamiento del primer satélite artificial SPUTNIK-1, el 4 de octubre de 1957, dio inicio a la geodesia satelital. Los conceptos dados por el trabajo de Väisälä (1946), Brouwer (1959), King-Hele (1958) y O'Keefe (1958), permitieron obtener importantes resultados geodésicos muy poco después del lanzamiento de los primeros cohetes y satélites. Uno de los resultados más sobresalientes fue la determinación del achatamiento de la Tierra con $f = 1/298.3$ de las observaciones de EXPLORER-1 y SPUTNIK-2 por O'Keefe (1958), King-Hele y Merson (1958).

A partir de 1958 hasta alrededor de 1970, se desarrollaron los métodos básicos para las observaciones satelitales, para el cálculo y el análisis de las órbitas satelitales. Se determinó los coeficientes armónicos más importantes del geopotencial y la publicación del primer modelo terrestre. La única red satelital mundial puramente geométrica fue establecida por observaciones con cámaras BC4 del satélite PAGEOS.

Desde 1970 hasta 1980, se realizaron proyectos científicos, desarrollando y perfeccionando nuevas técnicas de observación, en particular el rastreo láser de los satélites y de la Luna, así como la altimetría satelital. El sistema TRANSIT fue usado para el posicionamiento geodésico Doppler. Se estableció un geoide global con valores de coordenadas mejorados que produjeron modelos de la Tierra más desarrollados. El aumento de la precisión en las observaciones hizo posible la medida de fenómenos geodinámicos (rotación de la Tierra, movimiento polar, deformación de la corteza terrestre). El sondeo Doppler fue usado en todo el mundo para la instalación y mantenimiento de redes del control geodésico (por ejemplo EDOC, DÖDOC, ADOS).²

¹ Huerta, Eduardo y otros. **GPS Posicionamiento Satelital**. Pág. II-5

² Seeber Günter. **Satellite Geodesy**. Pág. 6

Desde 1980 hasta promediar 1990, es la etapa del uso operacional de técnicas satelitales en geodesia, geodinámica y sondaje, hay una mayor frecuencia de uso de estos métodos por la comunidad topográfica y geodésica reemplazando a los métodos convencionales. Este proceso comenzó con los primeros resultados obtenidos con el Sistema de Posicionamiento Global (GPS). Esto resultaría como perspectiva completamente nueva en la topografía y cartografía. Se incrementa la precisión en las observaciones. Algo resaltante es el reemplazo casi completo de las técnicas clásicas astrométricas para el monitoreo del movimiento polar y la rotación de la Tierra por el método satelital.³

Desde 1990 hasta alrededor de 2000, se inician los servicios permanentes. Siendo los más resaltantes:

- El Servicio Internacional de Rotación de la Tierra (IERS), iniciado en 1987, basado exclusivamente sobre las técnicas espaciales, ofrece parámetros muy precisos de la orientación de la Tierra con alta resolución temporal, mejorada y actualizada constantemente. El Marco Internacional de Referencia Celeste (ICRF), basado en el marco de las observaciones de radio de interferometría y el Marco Internacional de Referencia Terrestre (ITRF), basado en diferentes técnicas espaciales.
- El Servicio Internacional de GPS (IGS) hoy en día llamado Servicio Internacional de GNSS, se inició en 1994 y desarrollaron la principal fuente de órbitas precisas GPS así como sus coordenadas, las observaciones se hicieron en un conjunto mundial de más de 300 estaciones de observación permanente. Algunos de los servicios permanentes son CORS en Estados Unidos, CACS en Canadá y SAPOS en Alemania.⁴

Desde el 2000 hacia adelante, continúa el desarrollo de las técnicas de geodesia espacial. Algunas mejoras importantes de la precisión, tanto en la determinación terrestre y espacial, debido al establecimiento del Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS), con satélites GPS, satélites del sistema GLONASS y nuevos componentes como el europeo Galileo.

³ Seeber Günter. **Satellite Geodesy**. Pág. 7

⁴ Herrera Rosado, Ralfo. **Apuntes del curso Geodesia Satelital**. FIC-UNI

1.2. GEODESIA

La definición clásica de Friedrich Robert Helmert (1880/1884), expresa que la geodesia es la ciencia encargada de la medición y cartografía de la superficie terrestre. Esta definición incluye la determinación del campo gravitacional externo de la Tierra, así como de la superficie del suelo marino (Torge, 2001),⁵ además de estar ligada a la exploración espacial lo que permite estudiar, en el sentido geodésico, otros cuerpos celestes, por ejemplo, la Luna.

La presente tesis se fundamentará en la geodesia satelital, por las siguientes razones:

- necesita de un conocimiento amplio del movimiento de los satélites bajo la influencia de todas las fuerzas actuantes,
- descripción de la posición de los satélites y estaciones terrestres, en marcos de referencia adecuados.

La geodesia satelital, está basada en la observación de cuerpos celestes artificiales, mediante el cual se determina direcciones, extensiones y pendientes, entre estaciones terrestres y satélites o entre satélites. La geodesia satelital se ha desarrollado como un campo autosostenido en la enseñanza e investigación geodésica, con relaciones cercanas e interacciones con campos adyacentes (Figura 1. 2)

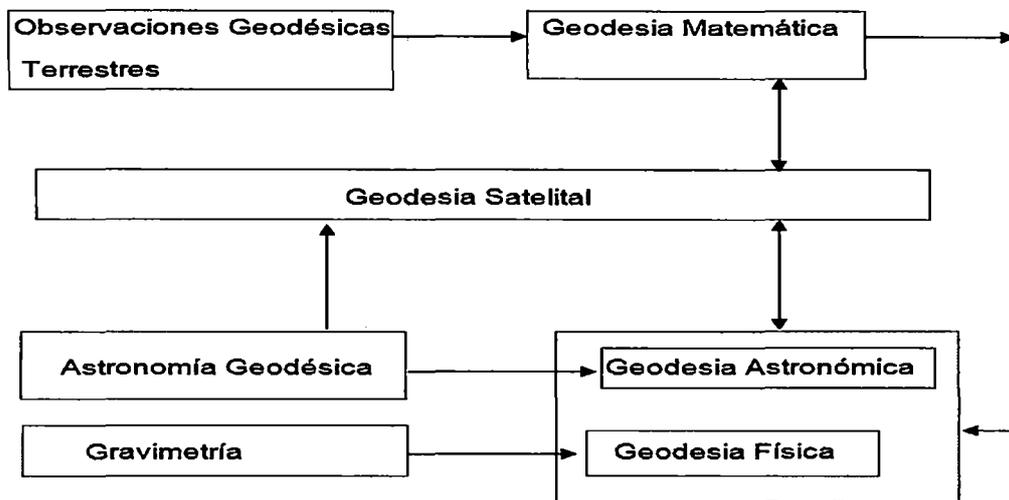


Figura 1. 2. Principales relaciones entre campos geodésicos de la enseñanza y la investigación.

Fuente: Herrera Rosado, R. Apuntes del curso Geodesia Satelital FIC-UNI (2010)

⁵ Seeber Günter. **Satellite Geodesy**. Pág. 1

❖ Geoide

Gauss (1822), fue el primer geodesta en definir la superficie del geoide como: "una superficie en la que cualquiera de sus partes corta las direcciones de la gravedad en ángulo recto y de la que es una parte de la superficie oceánica en reposo en condiciones ideales". Posteriormente Bessel (1837), en base a la definición de Gauss, definió a ésta superficie como una superficie equipotencial a la que deben estar referidos todos los trabajos geodésicos. Finalmente, Listing (1872) bautizó como "geoide" a esta superficie equipotencial.

Entonces geoide se define como la superficie equipotencial del campo gravitacional terrestre que coincide con las aguas del mar en su estado normal de equilibrio, considerando nulas las influencias de la atracción de la Luna, el Sol, corrientes marinas, etc.⁶

Para entender la forma de la Tierra a través del concepto de geoide, se inicia idealizando un planeta constituido tan solo por masas de agua y sin movimiento de rotación, dicho geoide adoptaría la forma de una esfera (Figura 1. 3)



Figura 1. 3. La Tierra constituía solamente por agua y sin presencia de movimiento de rotación.

Fuente: Mendoza Dueñas, J. Apuntes del curso Geodesia Satelital FIC-UNI (2011)

Al añadirle el movimiento de rotación respecto a su eje polar, se genera una ligera acumulación de masa de agua sobre el Ecuador, por lo que el radio en las vecindades de ese lugar se hace un poco mayor que en los polos (Figura 1. 4)



Figura 1. 4. Efecto del movimiento de rotación en la Tierra.

Fuente: Mendoza Dueñas, J. Apuntes del curso Geodesia Satelital FIC-UNI (2011)

⁶ Mendoza Dueñas, Jorge. **Apuntes del curso Geodesia Satelital.** FIC-UNI

La Tierra realmente, además de agua, está compuesta por masas sólidas distribuidas no uniformemente. Si nos ceñimos a la definición de geoide que es una superficie equipotencial; la distancia radial R , tiene que variar dado que su masa no es homogénea en todos los puntos de la zona sólida (Figura 1. 5).

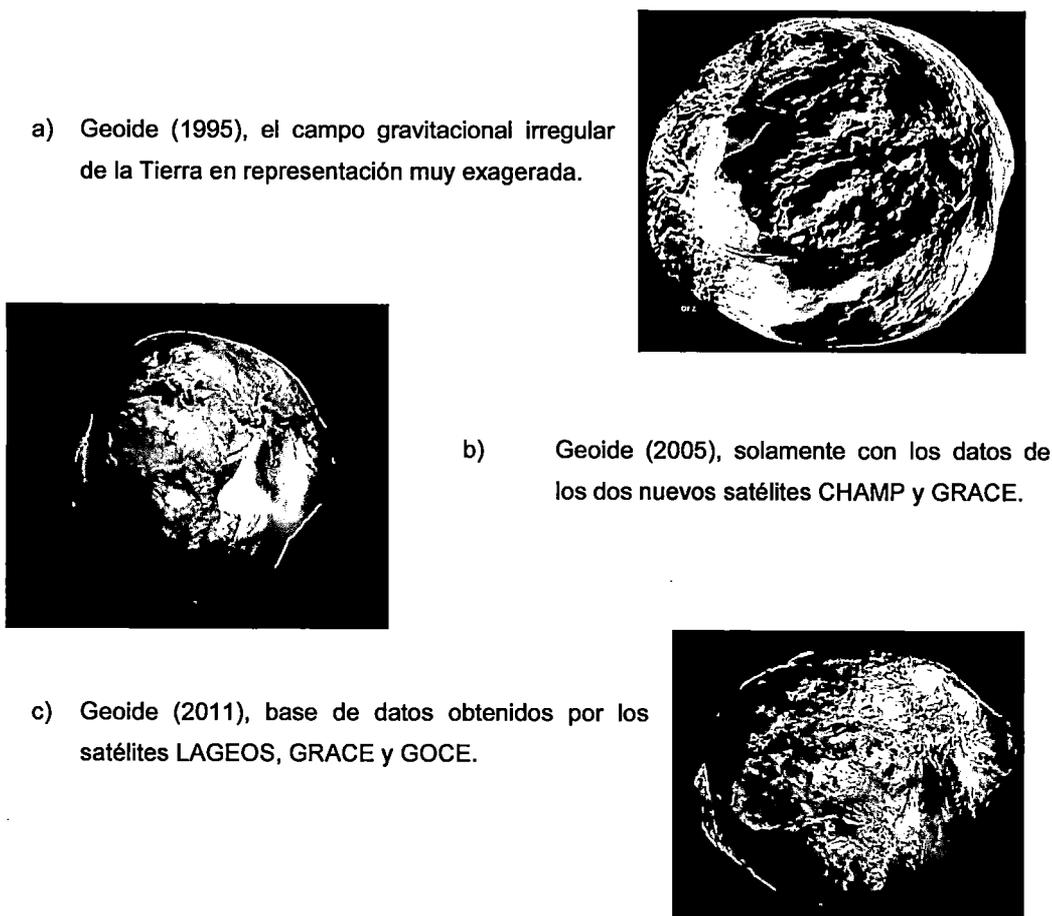


Figura 1. 5. Imágenes del geoide en diferentes años.

Fuente: GeoForschungsZentrum (GFZ) – Alemania (2011)

Es importante mencionar que aún no se puede expresar matemáticamente el geoide, imposibilitando resolver sobre ella los problemas de la geodesia, asumiendo de esta manera una figura aproximada como el elipsoide de revolución.

❖ Elipsoide de revolución

El elipsoide de revolución es un volumen generado alrededor de su eje menor, es aquella sustituta aproximada del geoide, cuya forma debería diferir lo menos posible del geoide (ver Figura 1. 6).

En la Tabla 1. 1 se definen los parámetros que dan forma a la elipse. Son muchos los elipsoides calculados, porque cada nación eligió el que mejor se adapta a la parte del geode correspondiente a su territorio o el que creía más correctamente calculado (Tabla 1. 2)

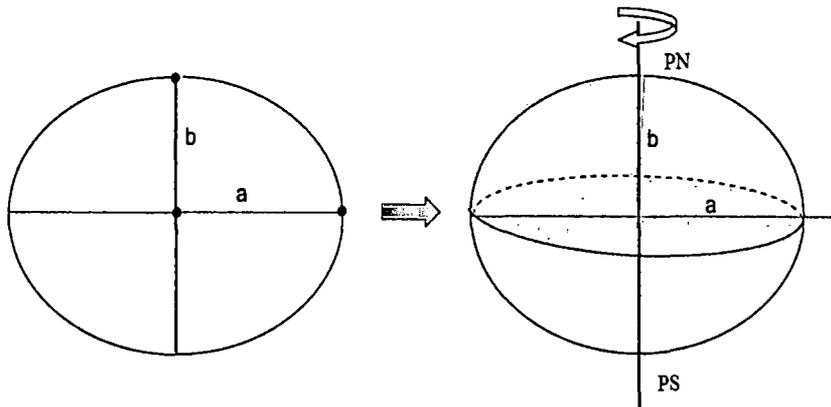


Figura 1. 6. Elipsoide de revolución.

Fuente: Mendoza Dueñas, J. Apuntes del curso Geodesia Satelital FIC-UNI (2011)

La conveniencia de unificar en lo posible los cálculos geodésicos, aconsejó aceptar como “elipsoide internacional” el de Hayford, el cual debería emplearse para todos los nuevos trabajos de geodesia a partir del año 1924.

No obstante, la dificultad de cambiar de elipsoide en los trabajos realizados, por lo laborioso de los cálculos que esto lleva consigo, obligó a seguir empleando distintos elipsoides.

Tabla 1. 1. Parámetros del elipsoide de revolución.

Semieje mayor :	a
Semieje menor :	b
Achatamiento :	$f = \frac{a-b}{a}$
1 ^{era} Excentricidad :	$e = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a}$
2 ^{da} Excentricidad :	$e' = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{b}$

Fuente: Mendoza Dueñas, J. Apuntes del curso Geodesia Satelital FIC-UNI (2011)

Tabla 1. 2. Elipsoides más usados.

ELIPSOIDE DE REFERENCIA	a(m)	1/f
Airy 1930	6377563.396	299.324964
Airy modificado	6377340.189	299.3249646
National Australiano	6378160	298.25
Bessel de 1941	6377397.155	299.1528128
Clarke de 1886	6378206.4	294.9786982
Clarke de 1880 modificado	6378249.145	293.4663
Everest 1830	6377276.345	300.8017
Everest modificado	6377304.063	300.8017
Fisher 1960 (Mercury)	6378166	298.3
Fisher modificado(Asia del sur)	6378155	298.3
Fisher 1968	6378137	298.3
Helmert de 1906	6378200	298.3
International 1909 (Hayford)	6378388	297
Krassovski 1940	6378245	298.3
Sudamericano de 1960	6378160	298.25
WGS 60	6378165	298.3
WGS 66	6378145	298.25
WGS 72 (Doppler)	6378135	298.26
GRS 80	6378137	298.257222101
WGS 84 (GPS)	6378137	298.257223563

Fuente: Mendoza Dueñas, J. Apuntes del curso Geodesia Satelital FIC-UNI (2011)

Es necesario conocer los conceptos y relaciones entre las diferentes alturas: ortométricas, elipsoidales y ondulaciones geoidales, por ejemplo los receptores GPS proporcionan alturas elipsoidales, sin embargo las obras ingenieriles utilizan cotas ortométricas (absolutas).

❖ **Altura ortométrica**

La altura ortométrica (H) es la separación vertical entre el geode y la superficie topográfica (Figura 1. 7).

❖ **Altura elipsoidal**

Altura elipsoidal (h) es la separación vertical entre el elipsoide y la superficie topográfica (Figura 1. 7).

❖ **Ondulación geoidal**

Ondulación geoidal (N) es la separación vertical entre el geode y el elipsoide (Figura 1. 7).

❖ **Desviación de la vertical**

Llamada también desviación astrogeodésica, está dado por el ángulo (Θ) formado entre la normal al geode (vertical local) y la normal al elipsoide en un punto (Figura 1. 7).

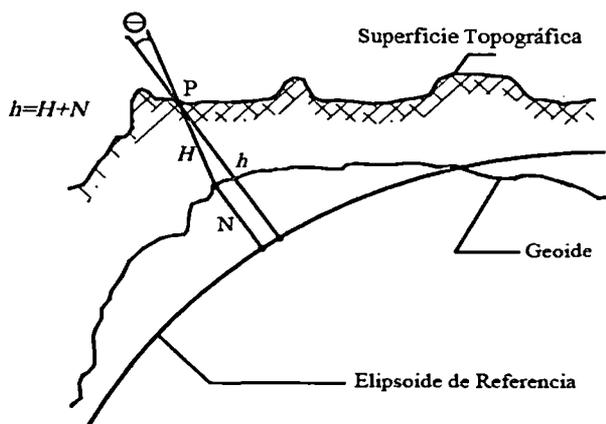


Figura 1. 7. Relación entre la altura ortométrica (H), altura elipsoidal (h), ondulación Geoidal (N) y desviación de la vertical (Θ)

Fuente: Mendoza Dueñas, J. Apuntes del curso Geodesia Satelital FIC-UNI (2011)

❖ **Punto Datum**

Llamado también punto fundamental o punto origen. Es aquel punto donde se hace coincidir la vertical al geode con la normal al elipsoide; es decir: geode y elipsoide son tangentes en dicho punto (desviación de la vertical igual cero). Para más detalle ver la Figura 1. 8.

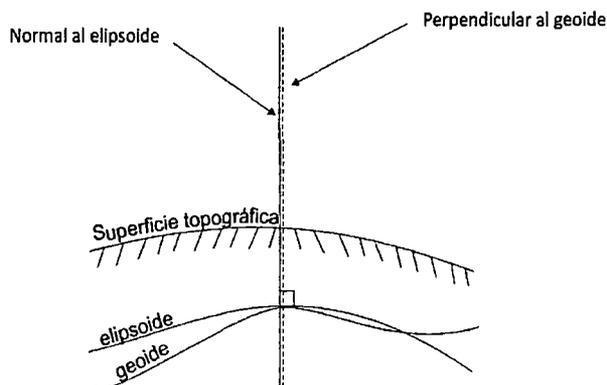


Figura 1. 8. Punto Datum.

Fuente: Mendoza Dueñas, J. Apuntes del curso Geodesia Satelital FIC-UNI (2011)

1.3. ESFERA CELESTE

Es un globo imaginario de radio infinito, en cuya cara interna se considera ubicado los astros.⁷

Particularidades:

- El centro de la esfera celeste es el centro de la Tierra.
- El radio de la esfera celeste es infinito.
- El Ecuador celeste es la prolongación del Ecuador terrestre.
- La Tierra se considera inmóvil.
- La esfera celeste gira de este a oeste con respecto a un eje (PNE-PSE)

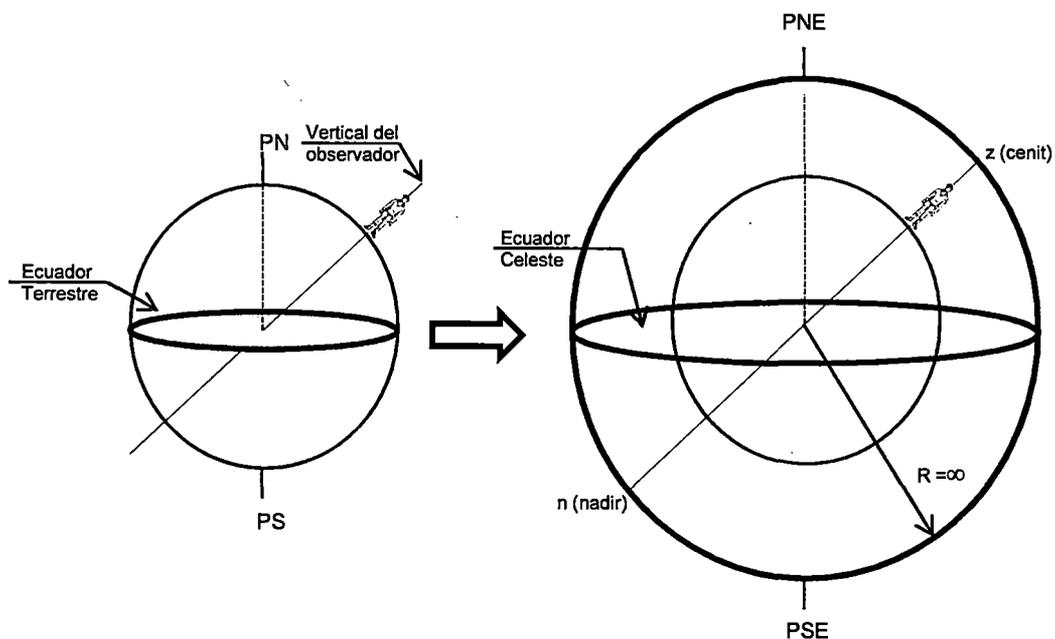


Figura 1. 9. Esfera terrestre (izquierda) y esfera celeste (derecha).

Fuente: Mendoza Dueñas, J. Apuntes del curso Geodesia Satelital FIC-UNI (2011)

❖ Elementos de la esfera celeste

- Cenit (z), es aquel punto en el cual la vertical superior respecto a un observador intercepta a la esfera celeste.

⁷ Mendoza Dueñas, Jorge. **Apuntes del curso Geodesia Satelital**. FIC-UNI

- Nadir (n), es aquel punto en el cual la vertical inferior respecto a un observador intercepta a la esfera celeste.
- Polo Norte Elevado (PNE o PN), es la prolongación del polo norte terrestre con la esfera celeste.
- Polo Sur Elevado (PSE o PS), es la prolongación del polo sur terrestre con la esfera celeste.
- Círculo Vertical, es aquel círculo máximo que pasa por el cenit y nadir de un observador.
- Círculo Horario, es aquel círculo máximo que pasa por el PN y PS.
- Ecuador Celeste, es la prolongación del Ecuador terrestre en la esfera celeste.
- Horizonte Celeste, es el círculo máximo perpendicular al círculo vertical.
- Meridiano del Lugar, es aquel círculo máximo que pasa por el cenit y nadir del dicho lugar así como de los polos elevados (PN y PS).
- Bóveda Celeste, es la semiesfera que está encima del horizonte. El observador del lugar solo verá los astros que están encima del horizonte, o sea en la bóveda celeste.
- Vertical Primo, es aquel círculo vertical perpendicular al meridiano del lugar y al horizonte.
- Eclíptica, es aquel círculo máximo en cuyo perímetro recorre al Sol.
- Punto Vernal (Equinoccio de primavera), es la intersección de la eclíptica con el Ecuador cuando el Sol recorre de sur a norte.
- Punto Libra (Equinoccio de otoño), es la intersección de la eclíptica con el Ecuador cuando el Sol recorre de norte a sur.

1.4. PROYECCIONES CARTOGRÁFICAS

La cartografía es la ciencia que estudia los diferentes métodos o sistemas para representar, sobre un plano, una parte o la totalidad de la superficie terrestre, de manera que las inevitables deformaciones que se producen sean mínimas, siempre conocidas, o bien que la representación plana obtenida cumpla ciertas

condiciones especiales, que interesen desde el punto de vista de su utilización posterior.

El problema de la representación de la superficie terrestre da lugar a las proyecciones cartográficas (Tabla 1. 3)

La proyección dependerá de la finalidad y aplicación de la misma, también del área a cartografiar y las condiciones de las deformaciones. No existe proyección perfecta, de tal forma que siempre habrá deformaciones en algún elemento de la transformación como son: ángulos, distancias o áreas.

Tabla 1. 3. Clasificación de las proyecciones.

PROYECCIONES EN FUNCIÓN DE LAS DEFORMACIONES	
<ul style="list-style-type: none"> • Proyección Conforme • Proyección Equidistante • Proyección Equivalente 	
PROYECCIONES EN FUNCIÓN DEL PROCESO GEOMÉTRICO	
Proyección Perspectiva	Proyección desarrollable o por desarrollo
<ul style="list-style-type: none"> • Proyección Gnomónica • Proyección Estereográfica • Proyección Escenográfica • Proyección Ortográfica 	<ul style="list-style-type: none"> • Proyección cónica o desarrollo cónico <ul style="list-style-type: none"> ✓ Proyección cónica conformal de Lambert • Proyección cilíndrica o desarrollo cilíndrico <ul style="list-style-type: none"> ✓ Proyección Mercator ✓ Proyección Transversa de Mercator ✓ Proyección Universal Transversa de Mercator

Fuente: Elaboración propia.

❖ Proyección Mercator (M)

Considera al elipsoide dentro de un cilindro hueco, tangente al plano ecuatorial y el eje del cilindro es coincidente con el eje polar de la Tierra. Cuando se desarrolla la superficie del cilindro en un plano, la línea ecuatorial representa una línea de verdadera distancia y las distorsiones aumentan a medida que aumentan las latitudes, ver Figura 1. 10.

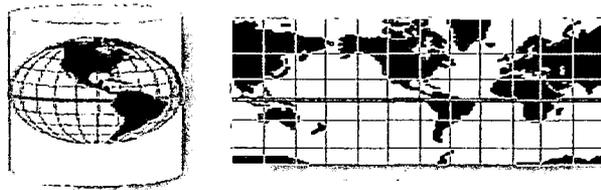


Figura 1. 10. Proyección Mercator.

Fuente: http://secundaria.us.es/felgonpen/IntroduccionGIS_felix2.htm

❖ Proyección Transversa de Mercator (TM)

Considera al elipsoide inscrito en un cilindro hueco, tangente a un meridiano (meridiano origen), cuya distancia en él es verdadera, el eje del cilindro es transversal (perpendicular) al eje de la Tierra, ver Figura 1. 11.

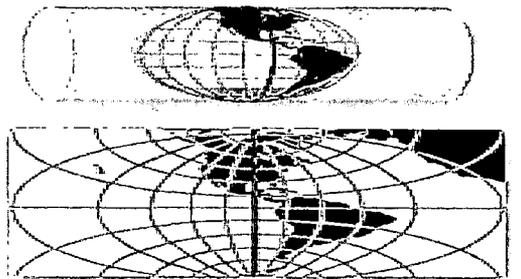


Figura 1. 11. Proyección Transversa de Mercator.

Fuente: http://secundaria.us.es/felgonpen/IntroduccionGIS_felix2.htm

❖ Proyección Universal Transversa de Mercator (UTM)

El cilindro transversal al eje polar de la Tierra, corta al elipsoide en dos líneas cerradas (líneas estándar) paralelo al meridiano origen. Esto se realiza con el fin de reducir la distorsión presentada en la proyección del cilindro transversal tangente al elipsoide (Figura 1. 12)

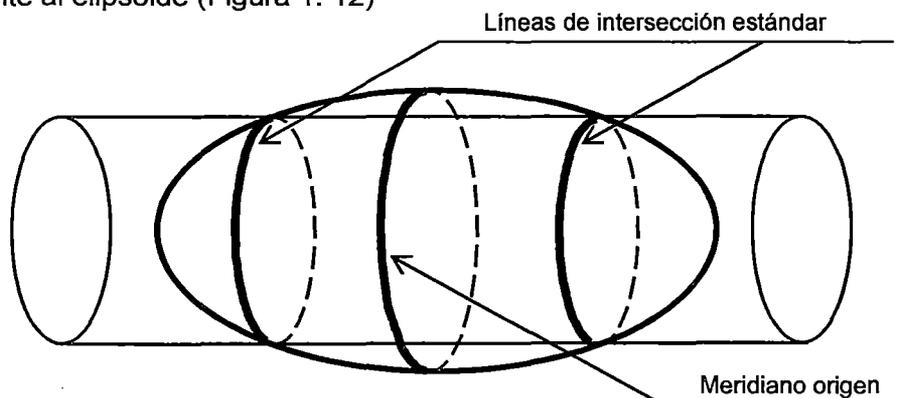


Figura 1. 12. Proyección Universal Transversa de Mercator.

Fuente: Mendoza Dueñas, J. Apuntes del curso Geodesia Satelital FIC-UNI (2011)

La proyección Universal Transversa de Mercator (UTM) tiene 60 zonas cada una de 6° de longitud, siendo la primera zona de 180° a 174° de longitud oeste y su meridiano central 177° oeste (ver Figura 1. 13), se recomienda el uso de la proyección UTM entre los 84° de latitud norte y los 80° de latitud sur.

El Perú establece como proyección cartográfica la proyección UTM, con las siguientes características técnicas:

- zona de proyección terrestre del territorio nacional: 17,18 y 19, de 6° de longitud cada zona,
- la latitud de origen: 0°,
- longitud origen, Meridiano Central (MC) de cada Zona de Proyección: 81° oeste, 75° oeste y 69° oeste. ⁸

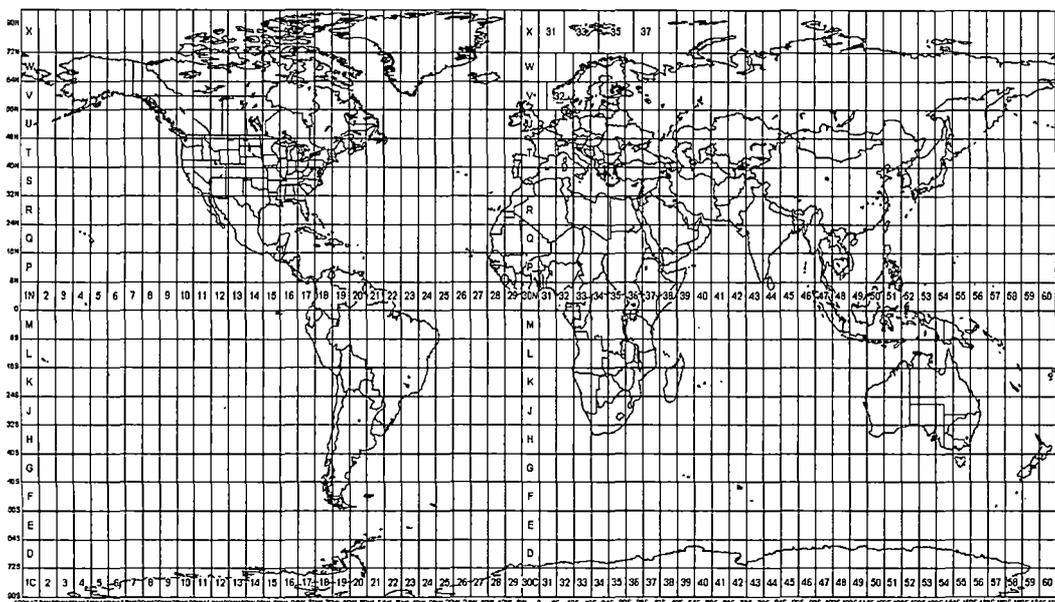


Figura 1. 13. Zonas generadas por la proyección UTM.

Fuente: Herrera Rosado, R. Apuntes del curso Geodesia Satelital FIC-UNI (2010)

1.5. TIPOS DE COORDENADAS USADAS EN GEODESIA

❖ Coordenadas cartesianas

Tiene su origen (punto O) en el centro del elipsoide, si éste es geocéntrico coincide con el centro de masa de la Tierra, los ejes X e Y están en el plano del Ecuador, el plano definido por OXZ pasa a través del meridiano de Greenwich y

⁸ República del Perú. **Resolución Jefatural N° 112–2006-IGN/OAJ/DGC/J.** Art. Primero

el eje Z coincide con el eje de rotación de la Tierra en dirección del polo Norte terrestre. Los tres ejes son ortogonales (Figura 1. 14).

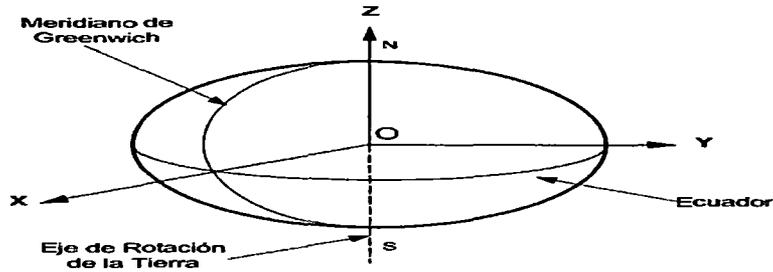


Figura 1. 14. Coordenadas cartesianas o geocéntricas.

Fuente: Elaboración propia.

❖ Coordenadas geodésicas

Su centro se sitúa en el centro del elipsoide, el eje Z coincide con el eje de rotación del elipsoide, el eje X se ubica en el plano ecuatorial y el plano del meridiano de Greenwich, el eje Y se escoge de manera que sean ortogonales. En la Figura 1. 15 se observa los elementos:

- Latitud geodésica (ϕ): ángulo medido sobre el plano meridiano que contiene al punto entre el plano ecuatorial y la normal al elipsoide en P. Latitud Norte (+) y latitud Sur (-) varía entre 0° y 90° .
- Longitud geodésica (λ): ángulo medido sobre el plano ecuatorial entre el meridiano origen y el plano meridiano que pasa por P. Si se toma hacia el Este será (+) y varía de 0° a 360° ; si se toma hacia el oeste será (-) de 0° a 180° .
- Altura elipsoidal (h): altura vertical de la estación al elipsoide.
- Las líneas de referencia: los meridianos y los paralelos, con plano fundamental en el Ecuador (π) y el plano secundario es el plano meridiano que contiene el meridiano de origen (π').

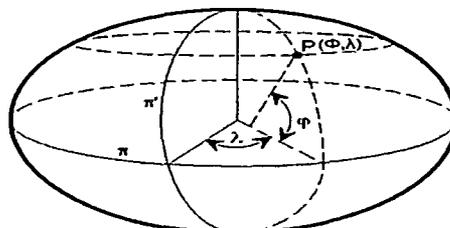


Figura 1. 15. Coordenadas geodésicas.

Fuente: Elaboración propia.

❖ **Coordenadas UTM**

Existe una convención en las coordenadas UTM.

En el hemisferio Norte:

- La coordenada norte (N) tiene su origen en el Ecuador y su valor de inicio es cero metros.
- La coordenada este (E) tiene su referencia en el meridiano central y su valor de partida es 500 000 metros.

En el hemisferio Sur:

- La coordenada norte (N) tiene su origen en el Ecuador y su valor de inicio es 10 000 000 metros.
- La coordenada este (E) tiene su referencia en el meridiano central y su valor de partida es 500 000 metros.

En el Perú se consideran algunos aspectos de las coordenadas UTM:

- Unidad de medida: metro
- Falso Norte: 10 000 000
- Falso Este: 500 000
- Factor de escala en el Meridiano Central: 0.9996

1.6. SISTEMAS GEODÉSICOS DE REFERENCIA

❖ **Sistema Local**

Debido a la necesidad de cada país o región por contar con un sistema geodésico de referencia, optaron considerar un elipsoide que sea lo más tangente al geoide en su región o continente, este sistema es enteramente planimétrico (Tabla 1. 4). Surgen confusiones cuando ocurren superposiciones de elipsoides con el geoide porque no guardan relación, siendo las diferencias inaceptables (Figura 1. 16). El sistema geodésico local, está compuesto por:

- Un elipsoide de referencia, porque se refiere a éste la superficie del geoide.
- Un punto datum

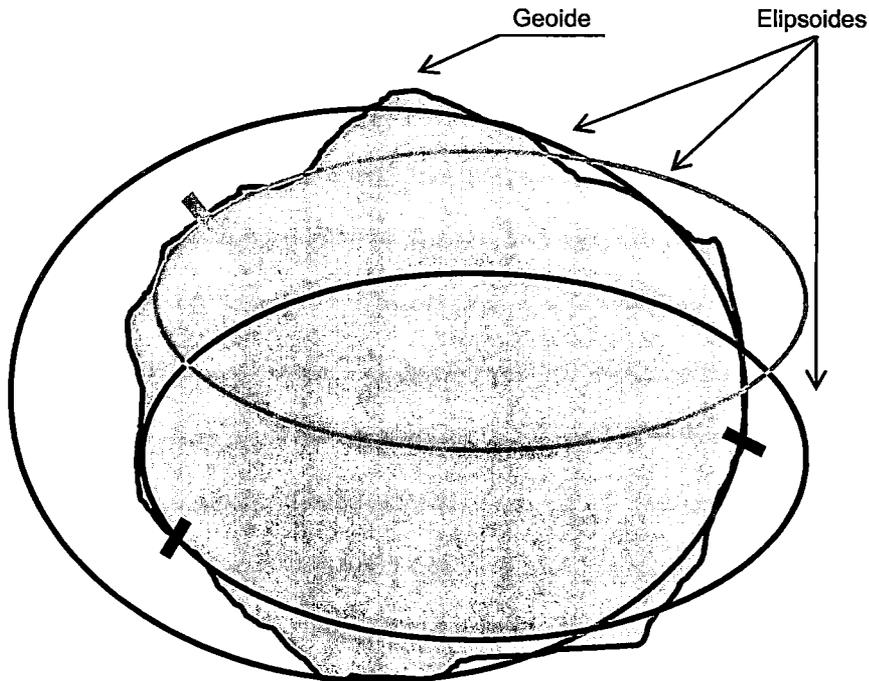


Figura 1. 16. Sistema Local (geoide y tres elipsoides)

Fuente: Herrera Rosado, R. Apuntes del curso Geodesia Satelital FIC-UNI (2010)

Tabla 1. 4.Principales sistemas locales.

DATUM	ELIPSOIDE	ORIGEN	LATITUD	LONGITUD
AUSTRALIAN GEODETTIC 1966	AUSTRALIAN NATIONAL	JHONSTON GEODETTIC STATION	-25°56'54.55"	133°12'30.08"
CHUA ASTRO(BRASIL- GEODETTIC)	INTERNATIONAL	CHUA	-19°45'41.16"	311°53'52.44"
EUROPEAN (EUROPE 50)	INTERNATIONAL	HELMTTURM	52°22'51.446"	13°03'58.928"
NORTH AMERICAN 1927	CLARKE	MEADES RANCH	39°13'26.686"	261°29.494"
PROVISIONAL SOUTH AMERICAN DATUM 1956 (PSAD56)	INTERNATIONAL	LA CANOA	08°34'17.17"	296°08'25.12"
SOUTH AMERICA 1969 (SAD69)	SOUTH AMERICA	CHUA	-19°45'41.653"	311°55.936"

Fuente: Herrera Rosado, R. Apuntes del curso Geodesia Satelital FIC-UNI (2010)

❖ Sistema Geocéntrico

Está constituido por un sistema cartesiano tridimensional, establecido por el Marco Internacional de Referencia Terrestre (ITRF) del Servicio Internacional de Rotación de la Tierra (IERS). Además tiene su origen en el centro de masa de la totalidad de la Tierra (Figura 1. 17), incluyendo los océanos y la atmósfera.⁹

En la Tabla 1. 5 se observa algunos de los sistemas geocéntricos más empleados.

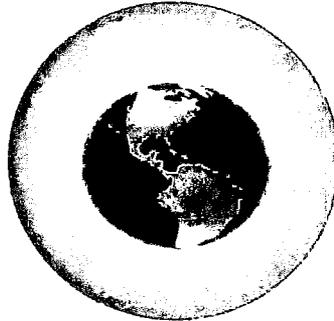


Figura 1. 17. Sistema geocéntrico.

Fuente: Mendoza Dueñas, J. Apuntes del curso Geodesia Satelital FIC-UNI (2011)

Tabla 1. 5. Algunos sistemas geocéntricos.

DATUM	ELIPSOIDE
WGS 84 (Sistema Geodésico Mundial 1984)	WGS 84
PZ 90 (Parametry Zemly 1990)	PZ 90
ITRF (Marco Internacional de Referencia Terrestre)	WGS 84
GDA 94 (Datum Geocéntrico de Australia)	GRS 80
HARTBEESTHOEK94	WGS84
ETRS89 (Sistema de Referencia Europeo Terrestre 1989)	GRS 80
CHTRF95	GRS 80
NAD 1983	GRS 80
SIRGAS (Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas)	WGS 84

Fuente: Mendoza Dueñas, J. Apuntes del curso Geodesia Satelital FIC-UNI (2011)

⁹ Mendoza Dueñas, Jorge. **Apuntes del curso Geodesia Satelital**. FIC-UNI

1.7. SISTEMA GLOBAL DE NAVEGACIÓN SATELITAL

Los Sistemas Globales de Navegación por Satélite (GNSS) son empleados para posicionar con precisión objetos fijos o móviles. Este enfoque general se suele denominar posicionamiento por satélite. La idea básica es determinar la posición de la antena ($R_i(t)$) conectado a un receptor GNSS. Desde las posiciones de todos los satélites en una constelación, se puede calcular en cualquier tiempo t la distancia ($\rho_i^j(t)$) entre cualquiera de los satélites visibles y la antena medida por un receptor GNSS, la única incógnita que queda es el vector de posición de la antena que se coloca y el origen de un sistema de coordenadas.

La Figura 1. 18 muestra el concepto básico de posicionamiento por satélite usando un sólo satélite j y un marco de referencia llamada "Tierra Centrada Tierra Fija" (ECEF).¹⁰

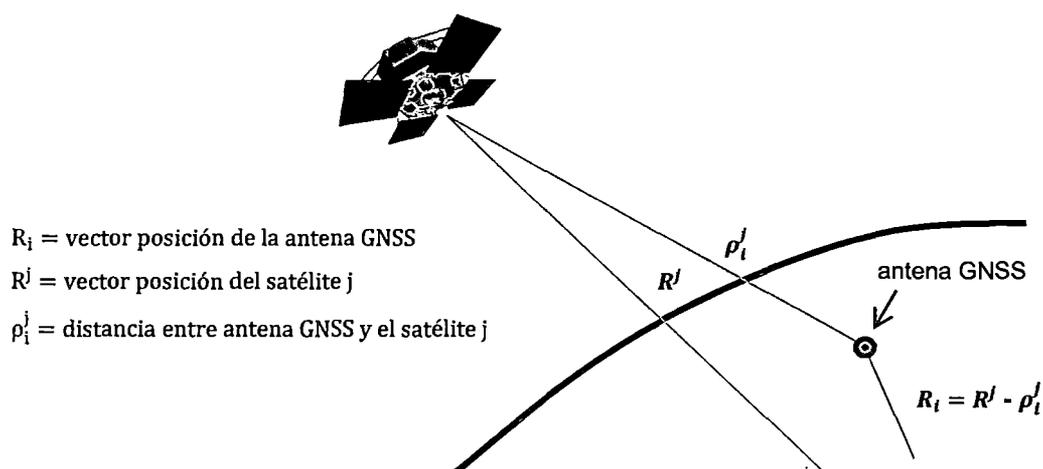


Figura 1. 18. Posicionamiento por satélite utilizando un marco de referencia ECEF.

Fuente: Federación Internacional de Agrimensores – Comisión de posición y mensura (2010)

En la práctica, sin embargo, la posición exacta de los objetos con los satélites GNSS es mucho más compleja. Si nos fijamos en una constelación de satélites, en primer lugar un usuario necesita saber la posición exacta de cada uno de los satélites ($R^j(t)$) durante un período de tiempo o en el futuro cercano. Las posiciones de los satélites en función del tiempo, también conocido como efemérides, se determinó inicialmente por grupos de trabajo en la dinámica de

¹⁰ Federación Internacional de Agrimensores. **Técnicas de Posicionamiento GNSS de bajo costo**. Pág. 7

naves espaciales, aeronáutica y mecánica celeste. Hoy en día son muy pocas investigaciones de instituciones académicas que participan activamente en el cálculo de las efemérides de satélite. El Servicio Internacional de GNSS (IGS), utiliza una red mundial de estaciones de referencia para seguir la posición y calcular la órbita de cada satélite mediante un proceso de mínimos cuadrados ponderados. Durante la última década, el proceso de determinación de la órbita en los Centros de Análisis del IGS ha mejorado significativamente con una precisión mayor que unos pocos centímetros.

Otra área importante de discusión tiene que ver con la medición de la distancia ($\rho_i^j(t)$) entre el satélite j y el receptor i . Diferentes técnicas de posicionamiento se han desarrollado sobre la base de condiciones de operación, pero todos utilizan la siguiente ecuación básica para estimar el vector de posición $R_i(t)$ de una antena.

$$\| R^j(t) - R_i(t) \| = \rho_i^j(t) \quad i, j = 1, 2, 3, \dots$$

Para objetos estacionarios, las técnicas de posicionamiento más comunes son el posicionamiento por punto preciso (PPP) y el posicionamiento relativo o diferencial. Para el primer caso, el usuario puede calcular una posición cada época y bajo condiciones ideales, debería obtener resultados redundantes. Como segundo método, el usuario también puede calcular un único conjunto de coordenadas sobre la base de muchas épocas, ya sea a través de un promedio o con un enfoque de mínimos cuadrados.

Si una antena está en una plataforma móvil, entonces una posición tiene que ser calculada en cada época y se refiere a menudo como el posicionamiento cinemático. Dos métodos de uso frecuente en esta categoría son el posicionamiento punto y posicionamiento cinemático en tiempo real, ya sea en un modo de posicionamiento punto o en relación con uno o más receptores fijos. Estos enfoques son a menudo aumentados por motivo adicional o sistemas espaciales, tales como el Sistema de Aumentación de Área Amplia (WAAS) utilizado principalmente por la industria de la aviación y el GPS Diferencial (DGPS) del sistema implantado inicialmente por la Guardia Costera de los Estados Unidos.¹¹

¹¹ Federación Internacional de Agrimensores. **Técnicas de Posicionamiento GNSS de bajo costo.** Pág. 8

Muchos de los sistemas de aumento, como el sistema WAAS utilizan satélites geoestacionarios para transmitir la corrección diferencial a los receptores para mejorar las capacidades de posicionamiento, así como la mejora de la integridad del sistema en general. El sistema DGPS de la Guardia Costera fue inicialmente diseñado para apoyar a las comunidades marítimas a lo largo del curso de aguas costeras y aguas interiores de los Estados Unidos, pero debido a su rendimiento y popularidad, el sistema se está ampliando en todo ese país y se conoce como Sistema de Posicionamiento Global Diferencial a nivel Nacional (NDGPS). Sistemas similares de aumento también se han desarrollado y están actualmente en funcionamiento en Europa y Japón. El Sistema Europeo Complementario Geoestacionario de Navegación (EGNOS) utiliza tres satélites geoestacionarios y numerosas estaciones de Tierra para mejorar las aplicaciones críticas de navegación que utilizan las aeronaves civiles, militares y los buques en Europa. El sistema de aumentación denominado Satélite Multifuncional de Transporte (MTSAT) está siendo desarrollado por Japón y apoyará a la agencia meteorológica de Japón, así como los sectores de aviación proporcionando cobertura a lo largo de Asia Oriental y el Pacífico Occidental.

❖ Sistema GPS

– Introducción

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) y los Satélites de Navegación Tiempo y Distancia (NAVSTAR) fueron desarrollados por el Departamento de Defensa de EE.UU. (DoD) para proporcionar un posicionamiento a nivel mundial y las capacidades de tiempo para los militares. El sistema fue diseñado inicialmente para proporcionar dos tipos de servicios. El primero es el Servicio de Posicionamiento Preciso (PPS) y es para uso militar, mientras que el segundo es el Servicio de Posicionamiento Estándar (SPS) y está destinado a ser utilizado por todos, al inicio su precisión horizontal era de unos 100 metros y vertical de 156 metros, debido a la Disponibilidad Selectiva (SA), en mayo del año 2000, Clinton anunció el fin de la degradación intencionada de la señal GPS. Los usuarios civiles pueden determinar coordenadas 10 veces más precisas que antes (10 metros).¹²

¹² Federación Internacional de Agrimensores. **Técnicas de Posicionamiento GNSS de bajo costo.** Pág. 9

Los diferentes componentes del sistema de GPS se dividen en tres grupos principales. El primero es conocido como el **Segmento Espacial** que contó originalmente con 24 satélites construido por Rockwell International, Lockheed Martin y Boeing, actualmente consta de 32 satélites operativos. Cuatro relojes atómicos en cada satélite calculan y transmiten continuamente el tiempo exacto (tiempo GPS) y la posición del satélite en una señal digital. Los satélites se colocan en seis planos orbitales, con una inclinación de 55° desde el Ecuador de la Tierra. Cada satélite se mueve en una órbita casi circular (semi-eje mayor 26660 km) y finaliza dos revoluciones orbitales en un día sideral. La inclinación de las órbitas y la altitud ($\sim 20\,000$ km) de los satélites GPS permiten que sean vistos mayor cantidad de satélites de forma simultánea desde prácticamente cualquier lugar del mundo. La visibilidad de los satélites también se ha optimizado mediante el monitoreo y el ajuste de las posiciones de todos los satélites en cada plano orbital.

El segundo componente principal del sistema GPS es el **Segmento de Control**. Este se compone actualmente de 11 estaciones de monitoreo y cada estación de monitoreo acumula el periodo visible de cada satélite antes de pasar la información a la Estación de Control Maestro (MCS) en la Base Aérea Schriever, en Colorado. El MCS es el responsable de calcular la órbita de cada satélite y actualizar la navegación o mensaje de transmisión con los parámetros que describen la órbita de cada satélite. El mensaje de transmisión es enviado a cada satélite a través de una conexión de subida (up-link) de una de las tres antenas de tierra situado en la isla de Ascensión, Diego García y Kwajalein.

El tercer componente del sistema GPS es el **Segmento de Usuario**. Esta se compone principalmente de antenas y receptores GPS que proporcionan información sobre la posición, navegación y tiempo de los usuarios. El número de aplicaciones para el GPS sigue creciendo y en la última década, ha habido un aumento dramático en el número y tipo de receptores que se han desarrollado y vendido para usos civiles y militares.

– Estructura de la señal GPS

Una de las principales características de diseño de todos los satélites GPS es el uso de relojes atómicos, los que generan transmisiones de la señal de frecuencia fundamental de 10.23 MHz. Las dos señales iniciales de todos los satélites GPS se conoce como frecuencias portadoras L1 y L2 que son múltiplos de la frecuencia fundamental. La portadora L1 es 154 veces la frecuencia

fundamental, $f_1 = 1575.42$ MHz, mientras que la frecuencia portadora L2 es 120 veces la frecuencia fundamental, $f_2 = 1227.60$ MHz. La precisión de los códigos de cifrado o P(Y) en las portadoras L1 y L2 tienen la misma frecuencia fundamental de 10.23 MHz, mientras que el código C/A tiene una frecuencia corta de un décimo de la frecuencia fundamental, es decir, 1.023 MHz.

Como parte del esfuerzo de modernización del GPS, una segunda frecuencia civil fue introducida en L2 para el Bloque IIR-M de los satélites que despegaron a partir de 1998. La nueva señal de navegación se refiere como L2C y tiene como objetivo mejorar la eficiencia de la navegación con una mayor capacidad de señal de rastreo. En marzo del año 2009, el Bloque IIR-20(M) de satélites fue lanzado con la nueva señal civil L5 seguridad de vida (1176.45 MHz) y es el primero de una serie diseñada con una mayor potencia de transmisión, mayor ancho de banda y un mejor rendimiento. La modernización de la constelación NAVSTAR tiene como objetivo dar más señales de transmisión tanto para las comunidades civiles y militares, está previsto que continúe hasta el año 2013.

– Tiempo del sistema GPS

Es el tiempo dado por el reloj compuesto que incluye las estaciones de monitoreo y la frecuencia estándar de los satélites. Un reloj maestro de tiempo GPS está comparado constantemente con un reloj del Observatorio Naval de los Estados Unidos (USNO).¹³

❖ Sistema GLONASS

– Introducción

El Sistema Global de Navegación Satelital (GLONASS - GLObal'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema) es administrado por las Fuerzas Espaciales de Rusia para el Gobierno de la Federación Rusa. Todos los componentes operativos del sistema GLONASS son operados por el Centro de Coordinación de Información Científica (KNITs) que es parte del Ministerio de Defensa de la Federación Rusa. El desarrollo inicial de GLONASS comenzó en 1976 en la antigua Unión Soviética y fue diseñado para ser una alternativa al sistema GPS que ofrece Estados Unidos. Hubo varias generaciones de satélites

¹³ Federación Internacional de Agrimensores. **Técnicas de Posicionamiento GNSS de bajo costo.** Pág. 9

en la constelación GLONASS. Los dos últimos, son conocidos como GLONASS-M y GLONASS-K, tienen una vida útil estimada de 7 y 12 años respectivamente. Todos los satélites tienen relojes atómicos y ofrecen en tiempo real la posición y la determinación de la velocidad. Al principio durante las fases de funcionamiento, la precisión posicional horizontal variaba entre 50 a 70 metros, mientras que la precisión vertical estaba en los 70 metros.

El **Segmento Espacial** de GLONASS consta de 24 satélites en tres planos orbitales separados por 120° y una inclinación de 64.8° con respecto al Ecuador. Los ocho satélites en cada plano, número 1-8 para el plano uno, 9-16 para el plano dos, etc., tienen una separación de 45° , una órbita casi circular con un período de 11 horas y 15 minutos, tiene una altitud de 19 100 km encima de la Tierra. La disposición espacial de los satélites en los tres planos es tal que sólo uno cruza el Ecuador a la vez, por lo tanto, un mínimo de cinco se pueden ver en cualquier momento y desde cualquier lugar de la Tierra. Entonces, cualquiera de los satélites específicos GLONASS, pasará por el mismo lugar en la Tierra cada ocho días siderales, mientras que cada satélite GPS pasa por el mismo lugar una vez cada día sideral.

El **Segmento de Control** de GLONASS tiene dos divisiones principales. El primero es el Centro de Control Terrestre con sede en Moscú y la segunda son las estaciones de telemetría y rastreo ubicada en San Petersburgo, Eniseisk, Ternopol y Komsomolsk-na-Amure. Las autoridades que operan GLONASS también tienen planes activos de expansión que incluyen un control adicional y estaciones de rastreo en Australia, Cuba y América del Sur para mejorar la precisión, fiabilidad e integridad del sistema.¹⁴

– Estructura de la señal

Hay dos tipos de señales que son transmitidas desde los satélites GLONASS. El primero es la Precisión Estándar (SP), señal que se transmite entre 316-500 Watts en un cono de 38° usando la regla de la mano derecha en la polarización circular. Cada satélite transmite la señal SP en el mismo código, pero utiliza una frecuencia diferente. La banda L1 se utiliza con una técnica conocida como Acceso Múltiple por División de Frecuencia (FDMA) para asignar frecuencias

¹⁴ Federación Internacional de Agrimensores. **Técnicas de Posicionamiento GNSS de bajo costo**. Pág. 10

diferentes en torno a 1602.0 MHz en 15 canales. Las frecuencias para los 15 canales se calculan utilizando la siguiente fórmula:

$$f = 1602 \text{ MHz} + 0.5625 \text{ MHz} * n ;$$

donde n es un valor entero -7 a 7.

La frecuencia para el canal 0, es 1602.0 MHz, mientras que la frecuencia para el canal -7 sería 1595.56 MHz. La precisión horizontal, utilizando la señal SP de cuatro satélites antiguos GLONASS (primera generación), fue por lo general entre 5-10 metros, mientras que la precisión vertical era de unos 15 metros.

La segunda señal conocida como Alta Precisión (HP) comparte la señal de la onda portadora que la señal SP, pero utiliza un ancho de banda que es 10 veces más grande. La señal HP se utiliza principalmente por los sectores militares rusos y otros con acceso autorizado. La técnica FDMA también se utiliza para asignar 15 frecuencias L2 de la señal HP, pero ahora están centrados cerca de 1246 MHz. En este caso, los mismos valores enteros que se utiliza para n al calcular las frecuencias de L1 se utilizan para la L2, pero con la siguiente fórmula:

$$f = 1246 \text{ MHz} + 0.4375 \text{ MHz} * n$$

- GLONASS en el futuro

Un cambio bastante significativo a las partes de la estructura de la señal GLONASS están programadas llevarse a cabo cuando GLONASS-K (tercera generación) se agreguen a los satélites de la constelación actual. Estos satélites utilizarán el Acceso Múltiple por División de Código (CDMA) para señales L1 y L5, una tecnología que emplea un esquema de codificación donde a cada transmisor se le asigna un único código para que los usuarios múltiples se puedan multiplexar en el mismo canal físico. El enfoque de CDMA volverá a la constelación GLONASS más compatible con el GPS y el futuro sistema Galileo.¹⁵

❖ Sistema Galileo

- Introducción

Galileo es conocido formalmente como el Programa Civil Europeo de Navegación por Satélite y su puesta se remonta a marzo del año 2002 cuando el

¹⁵ Federación Internacional de Agrimensores. **Técnicas de Posicionamiento GNSS de bajo costo.** Pág. 11

Consejo Europeo votó a favor de declarar el programa como un compromiso oficial. El programa Galileo ha recibido la mayor parte de su financiación inicial de numerosas instituciones europeas públicas y privadas, actualmente está siendo desarrollado como una contraparte interoperable con los sistemas GPS y GLONASS ofrecidas por los Estados Unidos y Rusia.

El sistema Galileo está diseñado con varios segmentos operativos principales. El primero es el **Segmento Global** contendrá 30 satélites de Órbita Terrestre Media (MEO), 27 operativos y tres de repuesto, en tres planos orbitales inclinados a 56°. En el plano de los satélites serán colocados en intervalos de 40°, tienen una altitud de 23 222 km y se maniobrará a través de cambios de velocidad para las fluctuaciones de periodo de la órbita y se mantengan a un mínimo absoluto. Las órbitas fueron elegidas también para minimizar las resonancias gravitacionales y para proporcionar una alta visibilidad de los satélites. Cada satélite transmite hasta el momento de navegación 10 señales de datos, algunas de las cuales contendrá la información del reloj y efemérides para permitir el posicionamiento en todo el mundo, la navegación, el tiempo y los servicios integrales de monitoreo.

El **Segmento de Control** terrestre se compone de cinco estaciones de conexión de subida (up-link) situado en todo el mundo y será el responsable de la telemetría, rastreo y comando (TTC) que son tareas de comunicación con los satélites en forma regular. Dos centros de control adicionales ubicadas en Oberpfaffenhofen (Alemania) y Roma (Italia) serán los responsables de analizar e iniciar las funciones de la estación de control a través de los cinco estaciones de TTC. El mantenimiento de la órbita y las actividades de los sistemas de monitoreo también se llevará a cabo en los dos centros de control europeos. Una red global más amplia de hasta 30 estaciones de rastreo se utilizará para monitorear continuamente todas las señales de navegación satelital de forma redundante.

Otro componente importante de la infraestructura de Galileo es el **Segmento Regional** que constará de varias agencias dentro y fuera de Europa, que ofrecerá servicios integridad independiente del sistema Galileo. Los servicios integridad, conocido como Sistemas Externos de la Región de Integridad (ERIS), también será parte de un sistema de control utilizado para controlar legalmente los productos, servicios y garantías ofrecidos por Galileo.

– Las señales Galileo

Cada satélite de la constelación Galileo usará la tecnología CDMA para transmitir hasta 10 señales en los rangos de frecuencia 1164-1592 MHz. Un código o clave se agrega a cada señal de modo que los receptores puedan identificar las señales del satélite además del tiempo que le tomó las transmisiones. Cuanto más complejo sea el código, se incrementa el tiempo transcurrido en un receptor para la identificación del canal que debe asignar a la señal. Los códigos de identificación por satélite también vienen en dos formatos. Un código de formato largo que es más difícil de adquirir, pero mejora las capacidades de rastreo cuando las señales son muy débiles, mientras que los códigos de acceso permiten adquisiciones muy rápidamente.

La frecuencia de la banda E5a es 1164-1189 MHz y tiene 1176.45 MHz como frecuencia central. La misma frecuencia también se utiliza para la señal L5 GPS. La banda E5b tiene 1189-1214 MHz y utiliza 1207.14 MHz como frecuencia central. Esta banda es equivalente a la banda L3 GLONASS. Los datos sobre las señales de las bandas E5a y E5b son encriptadas y está disponible para todos los usuarios.

La banda multi-lobulado E6 de 1260-1300 MHz es única para Galileo. Utiliza 1278.75 MHz como frecuencia central para transmitir señales que han controlado el acceso a la gama encriptada y la información de datos. Señales asociadas a los lóbulos laterales de la banda E6 también son encriptados en parte pero con acceso restringido a la información de datos.

El último bloque de frecuencias contienen las señales de E2, L1 y E1. Esta banda oscila entre 1559-1592 MHz, tiene una frecuencia central de 1575.42 MHz y es utilizado tanto por GPS y Galileo para la señal L1. La Figura 1. 19 resume el espectro de frecuencias, la estructura de la señal y los tipos de datos utilizados por el GPS y Galileo.¹⁶

¹⁶ Federación Internacional de Agrimensores. **Técnicas de Posicionamiento GNSS de bajo costo.** Pág. 13

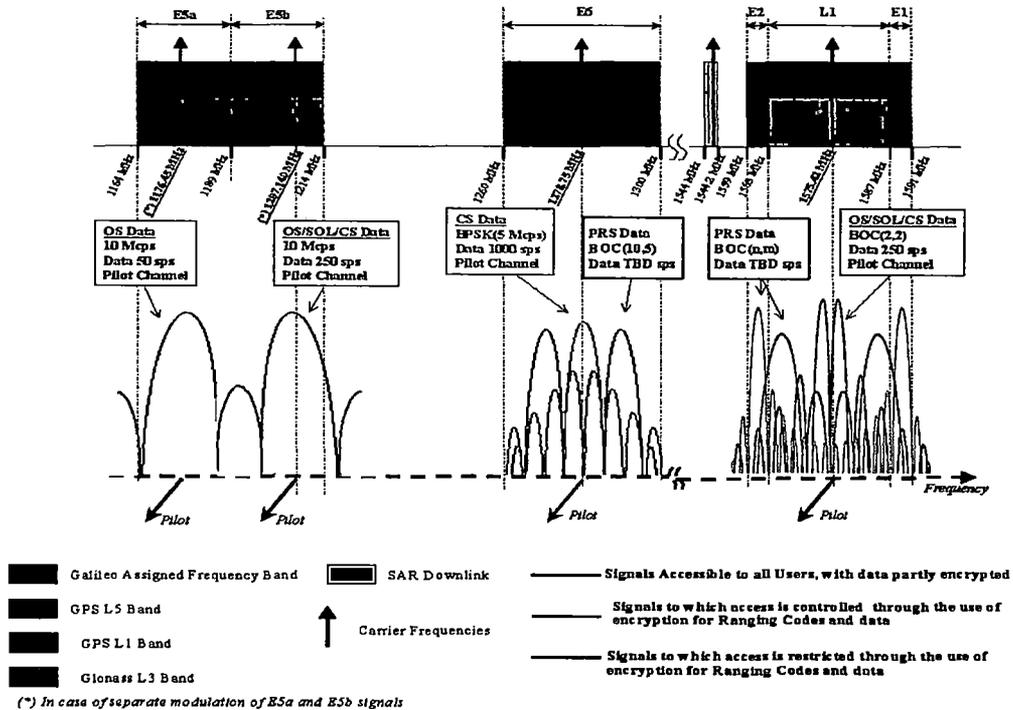


Figura 1. 19. Estructura de la señal Galileo, GPS y GLONASS.

Fuente: Instituto de Geodesia y Navegación - Universidad FAF de Munich

– Servicios de Galileo

Una de las razones principales de Galileo será ofrecer hasta 10 señales, tratará de satisfacer las demandas y peticiones planteadas por muchos usuarios de GNSS actuales y futuros. Mejorar la adquisición de la señal, el rastreo de señales en interiores, proporcionando los códigos con diferentes características de la señal y tratando de mejorar las técnicas utilizadas para estimar el retraso ionosférico, son casos específicos que se beneficiaría el tener más señales. Las estructuras de la señal y la asignación de frecuencias fueron elegidos intencionadamente así que las señales podrían ser utilizados en pares, como en la determinación del retraso ionosférico, donde las mediciones con dos señales diferentes desde el mismo satélite se pueden determinar y cancelar. Este efecto es más pronunciado cuando la separación entre las frecuencias de las dos señales aumenta.

Con respecto a los servicios comunes, tales como el posicionamiento y la navegación, GPS y Galileo tendrán las mismas señales L1 y L5 y por lo tanto cualquier aumento en el número de satélites en el espacio fortalecerá la geometría utilizada para obtener una posición.

Además de los servicios comunes, habrá cuatro o cinco satélites Galileo que solamente ofrecerán servicios mundiales. El Servicio Abierto (OS) proporciona funciones de la posición y el tiempo, de forma gratuita a la comunidad en todo el mundo. El rendimiento de este servicio es equivalente con los servicios similares ofrecidos por otras constelaciones de satélites. El Servicio Público Regulado (PRS) utiliza dos señales dirigidas a los usuarios que utilizan el posicionamiento específico de alto rendimiento y aplicaciones de tiempo los cuales exigen de larga continuidad de servicio. El Servicio Comercial (CS) ofrece características similares, pero las señales utilizadas en este caso, ofrecen mayores tasas de rendimiento, serán adaptadas para aplicaciones de alta precisión. La Seguridad de la Vida de Servicio (SoL) está diseñado para mejorar el servicio abierto al proporcionar mensajes de integridad cuando el rendimiento cae por debajo de un umbral determinado. La última señal es el Servicio de Búsqueda y Rescate, donde cada satélite Galileo será capaz de detectar una señal de socorro y transmitir su ubicación a un centro de monitoreo en tiempo casi real, permitiendo así que los servicios de rescate sean más rápidos.

❖ Sistema COMPASS

Los Estados Unidos, Rusia y la Comunidad Europea no son los únicos países participando en la carrera del posicionamiento y la navegación global. China también está desarrollando un sistema independiente para operar en todo el mundo. Su sistema inicial es conocido como Beidou-1 y se compone de cuatro satélites geoestacionarios colocados principalmente en Asia. Dos satélites fueron lanzados a finales del año 2000, un tercero el año 2003 y el cuarto en el año 2007. La constelación experimental proporciona una cobertura limitada que oscila entre 70° E y 140° E y de 5° N y 55° N. Sin embargo, dos de los satélites no se pueden utilizar y la situación de un tercero no está clara.¹⁷

El nuevo sistema de China conocida como Compass o Beidou-2 tendrá una constelación de 35 satélites, que proporcionarán un posicionamiento a nivel mundial. Cinco satélites geoestacionarios serán el sistema compatible con Beidou-1, mientras que los satélites restantes se encuentran en órbitas medias

¹⁷ Federación Internacional de Agrimensores. **Técnicas de Posicionamiento GNSS de bajo costo.** Pág. 14

de la Tierra. Las señales de transmisión se basan en el acceso múltiple por división de código y utilizará las frecuencias de las bandas E1, E2, E5B y E6.

A principios del 2009 dos satélites Compass han sido lanzados. Compass-M1 fue puesto en órbita para la prueba de señales de las bandas E2, E5B y E6 para validar una serie de sistemas de servicio. Un tercer satélite Compass fue lanzado el 17 de enero del 2010 como una implementación de una versión regional del sistema GNSS-Compass, actualmente con 12 satélites está previsto que finalice el año 2012. La financiación para terminar y operar la constelación de 35 satélites se ha asegurado para el año 2020.

1.8. GPS EN EL PERÚ

“En el Perú por la década del setenta se pusieron puntos de control de alta precisión en el territorio nacional, los que sirvieron de base para mediciones posteriores con el GPS.

La red geodésica local con el punto datum de La Canoa (Venezuela) llamada PSAD56 con sus bases de control, sirvieron para elaborar nuestra carta nacional y realizar levantamientos topográficos y/o geodésicos para la ejecución de obras de ingeniería (carreteras, canales, túneles, presas, centrales hidroeléctricas, delimitaciones, etc.). Con el “boom” minero, a los inicios de los noventa, fue necesario ubicar los petitorios mineros (antes denuncios), para poder dar las concesiones de explotación, con la mayor precisión y rapidez.”¹⁸

❖ Los primeros pasos

“Trimble Navegation, fabricante de receptores GPS de alta precisión, dio en 1993 una conferencia sobre sus receptores, presentando la nueva revolución tecnológica que se había iniciado con este instrumento.

Topoequipos, en 1993, dio una demostración de traslocación de un punto de la base S.E. Conchán a la Universidad Nacional de Ingeniería con receptores Trimble Navegation 400S0E de una frecuencia.

La Universidad Nacional de Ingeniería (UNI) en 1994, adquirió dos receptores GPS Leica, modelo SYSTEM 200 de doble frecuencia, con los que realizó estudios de investigación. La empresa minera “MARSA” adquiere, simultáneamente, dos receptores GPS de doble frecuencia marca Leica, modelo

¹⁸ Herrera Rosado, Ralfo. **Revista Geoexpo**. Pág. 4

SYSTEM 200, para ubicar sus concesiones mineras. Por su parte el Registro Público de Minería (RPM) adquirió dos receptores GPS de doble frecuencia marca Trimble Navigation modelo SS400E para realizar una red geodésica minera. Desgraciadamente, por falta de conocimientos geodésicos y cartográficos, no aplicaron en forma correcta el uso del sistema GPS. En este contexto la UNI organizó el Forum Internacional denominado: "Nuevos Conceptos Geodésicos y su Tecnología de Punta", en octubre de 1994 en el auditorio de Petroperú, difundiendo y explicando la base teórica y práctica de la nueva tecnología. Fue invitado el Dr. Tomás Soler de la National Geodetic Survey (NGS), quien explicó los conceptos geodésicos y las conversiones del sistema geodésico local PSAD-56 al sistema geodésico mundial WGS-84, sistema natural del sistema GPS. A partir de entonces se aclararon los conceptos y se hizo un uso correcto del GPS.

Asimismo, en 1994, el Instituto Geofísico del Perú (IGP), mediante el proyecto SNNAP, llevó a cabo mediciones para determinar la tectónica de placas: La placa de Nazca y la placa continental de Sudamérica. En el Perú tenemos un punto de rastreo permanente GPS en Characato, Arequipa, en el Observatorio que administra la Universidad Nacional de San Agustín (UNAS). Este proyecto SNNAP colocó puntos de control en el Sur del Perú y Bolivia, las que reocupan cada cuatro años para dar las nuevas coordenadas de los puntos desplazados. Por último, desde 1997 se organiza el congreso internacional Geoexpo, el que permitió un impulso sostenido y una amplia difusión de los conceptos y usos del GPS y las tecnologías que le son afines, como el GIS, la Cartografía, la Fotogrametría, la Teledetección y su aplicación en Catastro." ¹⁹

❖ Trabajos con GPS

"El primer trabajo de ingeniería con GPS se realizó entre el 20 de diciembre de 1995 y enero de 1996 en la ubicación de los vértices de la línea de alta tensión entre Aguaytía y Paramonga de más de 200 km de longitud. Este trabajo demoró 22 días y se realizó bajo temperaturas de 30 °C en Aguaytía y -4 °C en Conococha, abra de la cordillera en la carretera hacia Huaraz. Se trabajó en la Selva, Sierra y Costa sin ninguna dificultad y en tiempo récord (normalmente con estaciones totales, este trabajo se hubiere hecho en seis meses).

¹⁹ Herrera Rosado, Ralfo. **Revista Geoexpo**. Pág. 4

En 1995 (entre mayo y junio), se llevó a cabo el proyecto Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas (SIRGAS), dirigido por alemanes, en Sudamérica por Brasil y coordinado en el Perú por el Instituto Geográfico Nacional (IGN). De la red geodésica para Sudamérica se colocaron cuatro puntos de orden 0 (de altísima precisión): Arequipa – Estación de Characato, en Lima, techo del IGN, en Iquitos – Base Naval y Piura – azotea del edificio de la Municipalidad. El proyecto resultó tan bueno que ha sido extendido a Centroamérica, Norteamérica y Canadá. Estos puntos GPS del proyecto SIRGAS también son reocupados en períodos de tiempo para recalcular las nuevas coordenadas. En el Perú actualmente es utilizado por los catastros mineros, urbanos y rurales para determinar las coordenadas de sus linderos, es decir determinar el sistema WGS84 evitando así los viejos problemas de superposiciones de propiedades. Las minas de Antamina, Pierina, Yanacocha, Cerro Verde, Cuajone, etc., utilizan GPS en tiempo real para la explotación de éstas. El sistema GPS también es utilizado para GIS, para control de maquinarias, en turismo de aventura, en vehículos 4x4 y otras muchas aplicaciones.”²⁰

❖ Red Geodésica Geocéntrica Nacional (REGGEN)

Red Geodésica es el conjunto de puntos, físicamente establecidos mediante marcas, hitos o señales, sobre el terreno, comúnmente denominados vértices geodésicos, medidos con gran precisión, que proporcionan las coordenadas geodésicas: Latitud, Longitud y Altura. Se encuentran enlazadas y ajustadas a marcos geodésicos nacionales o mundiales, constituyen la infraestructura fundamental para proporcionar alta precisión a la cartografía. La Red Geodésica Geocéntrica Nacional (REGGEN), es la Red Geodésica Horizontal Oficial del Perú (Figura 1. 20), a cargo del Instituto Geográfico Nacional; la misma que tiene como base el Sistema SIRGAS sustentada en el Marco Internacional de Referencia Terrestre 2000 (ITRF2000) del Servicio Internacional de Rotación de la Tierra (IERS) para la época 2000.4 relacionado con el elipsoide del Sistema Geodésico de Referencia 1980 (GRS80). La Red Geodésica Geocéntrica Nacional está conformada por las estaciones de monitoreo continuo y los hitos o señales de orden “0”, “A”, “B” y “C”, distribuidos dentro del ámbito del Territorio Nacional, los mismos que constituyen bienes del Estado. Para efectos prácticos

²⁰ Herrera Rosado, Ralfo. **Revista Geoexpo**. Pág. 4

como elipsoide puede ser utilizado además el WGS84, las constantes de estos dos elipsoides GRS80 y WGS84, son idénticas, con excepción de una pequeña variación en el factor dinámico de deformación J_2 .²¹

La red antecesora a la REGGEN conocida como Red Geodésica Horizontal Clásica (Figura 1. 21), implementada en el Perú hasta el año 1980, mediante mediciones astronómicas y estructuradas en redes de triangulación de primer orden, segundo, tercer y cuarto orden, sobre la base del sistema geodésico local, el Datum Provisional Sudamericano 1956 (PSAD56), a la fecha ya no es compatible con los niveles de precisión actuales y conociéndose que sus monumentos se encuentran destruidos o deteriorados, no es posible su recuperación como tampoco la obtención de parámetros de transformación para escalas mayores a 1:15 000.

²¹ República del Perú. **Resolución Jefatural N° 086-2011-IGN/OAJ/DGC.** Art. Segundo

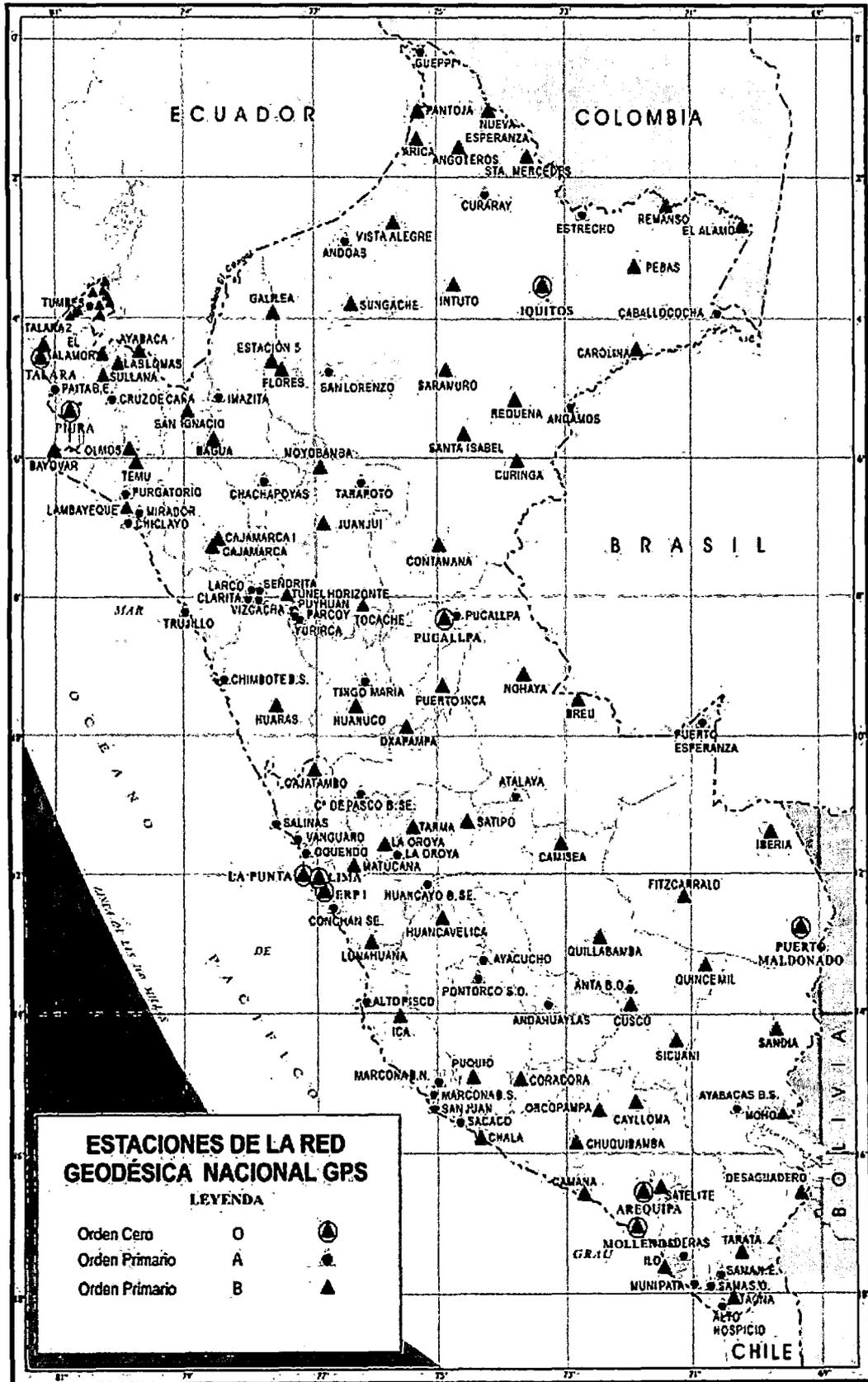


Figura 1. 20. Red Geodésica Geocéntrica Nacional (REGGEN)

Fuente: Instituto Geográfico Nacional del Perú.

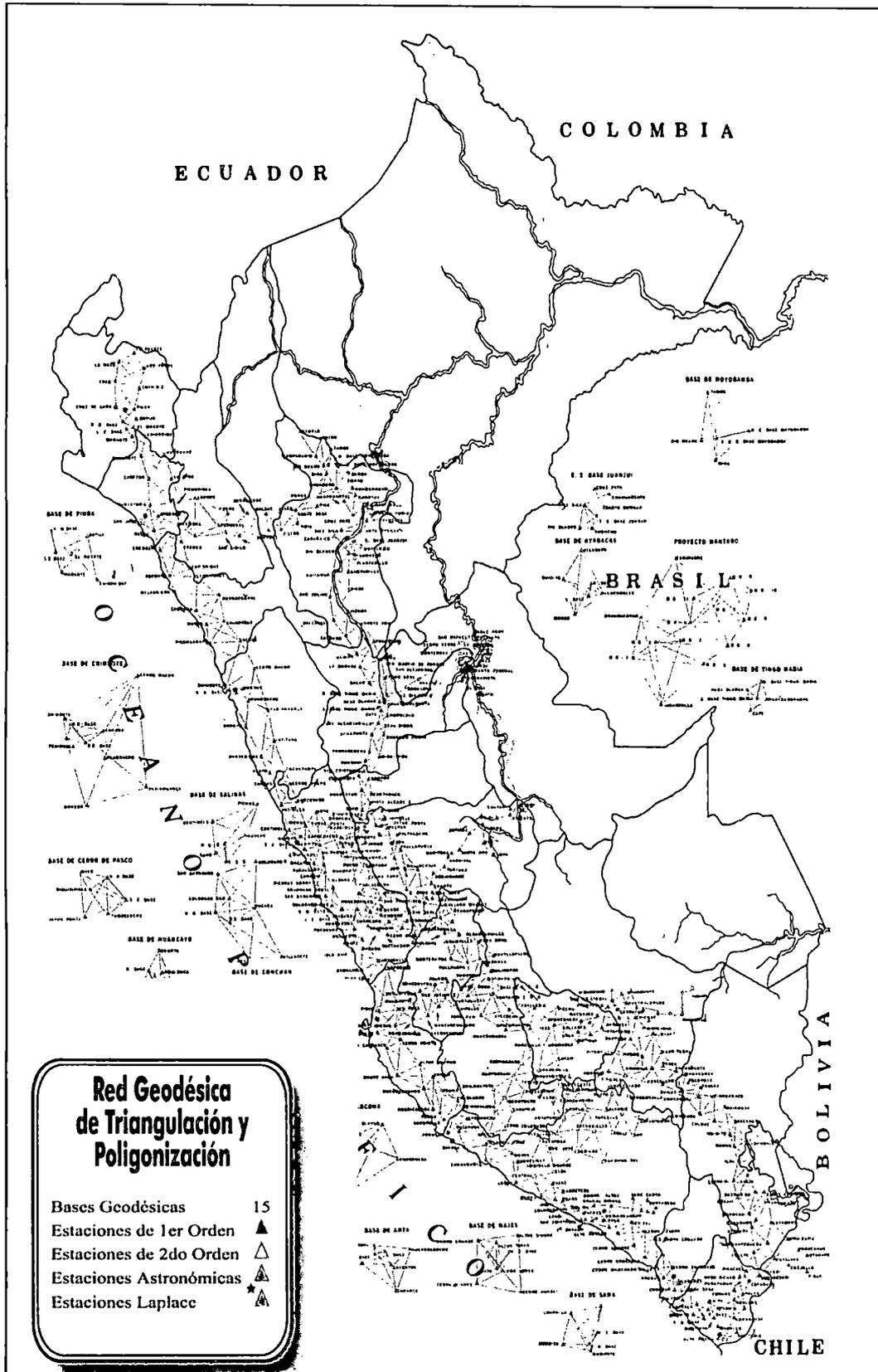


Figura 1. 21. Red Geodésica Horizontal Clásica.

Fuente: Instituto Geográfico Nacional del Perú.

❖ Estaciones de Rastreo Permanente (ERP)

El IGN, en su calidad de ente rector de la Cartografía en el Perú, en base al Convenio Marco de Cooperación Interinstitucional suscrito con COFOPRI y SUNARP, ha realizado la densificación de la Red Geodésica Geocéntrica Nacional (REGGEN) con la colocación de 4955 puntos GPS geodésicos y la instalación de 45 Estaciones de Rastreo Permanente (ERP) a nivel nacional, lo cual permitirá dar precisión centimétrica a las actividades de actualización de la cartografía, trabajos de catastro rural y urbano, trabajos de ingeniería civil, control de tráfico aéreo, terrestre y en la defensa nacional, para lo cual están ubicados estratégicamente en lugares que reúnan las condiciones de seguridad y permanencia.

La instalación de las estaciones de rastreo permanente inició con 5 estaciones el 2008, 20 estaciones el 2009 y 20 estaciones el 2010. En total son 45 estaciones de rastreo permanente en el Perú (Figura 1. 22).

❖ SIRGAS en el Perú

SIRGAS (Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas) es un proyecto que se viene ejecutando desde 1993, establecido en la Conferencia Internacional sobre la definición del Datum Geocéntrico Sudamericano, en Asunción (Paraguay) y patrocinada por la Asociación Internacional de Geodesia (IAG), el Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH) y la Agencia Nacional de Mapas e Imágenes de EE.UU. (NIMA). Su implementación radica en la implementación de un sistema de referencia, acorde con los más recientes avances científicos de la geodesia y además de dar soporte a la determinación precisa de coordenadas, facilitar, entre otros, la demarcación fronteriza, la implementación de proyectos transnacionales de infraestructura, el intercambio de información georreferenciada a escala nacional, continental y global, el desarrollo de los sistemas de información geográfica regionales o nacionales, sobre la base de un sistema de referencia única.

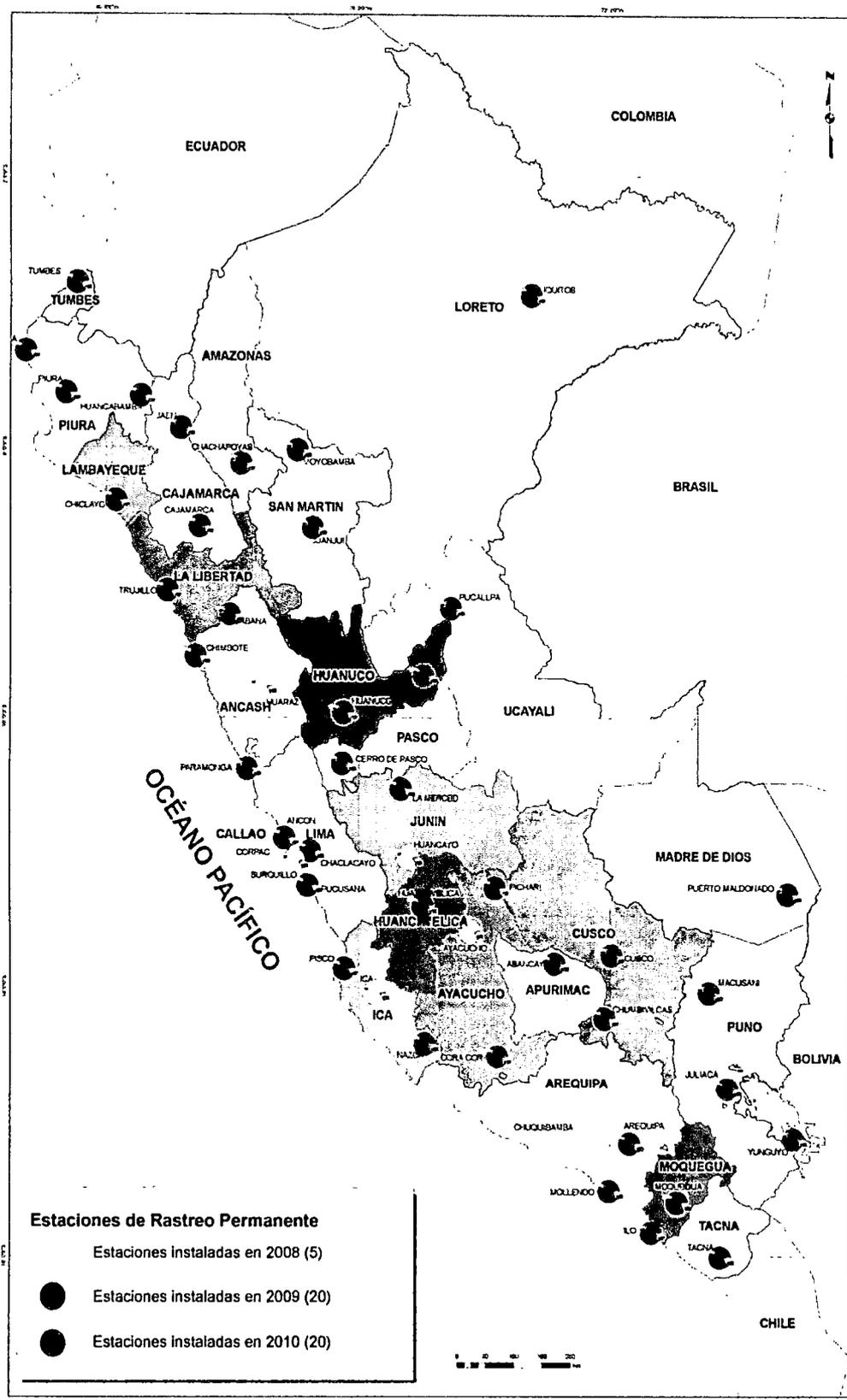


Figura 1. 22. Estaciones de Rastreo Permanente (ERP)

Fuente: Instituto Geográfico Nacional del Perú.

En resumen, los objetivos planteados por SIRGAS se mencionan a continuación:

- Definir un sistema de referencia geocéntrico tridimensional.
- Determinar los cambios del marco de referencia con respecto al tiempo.
- Definir y materializar un sistema de referencia vertical único con alturas físicas y geométricas consistentes.

En el Perú, el Instituto Geográfico Nacional a través de la dirección de Geodesia, es la institución que se encarga de establecer, mantener e implementar la Red Geodesia Nacional GPS y la Red de Nivelación Geodésica, para lo cual interviene en proyectos de nivel continental como el mencionado SIRGAS.

Desde la primera campaña de mediciones (1995), donde se instalaron observaciones GPS en 58 estaciones distribuidas en 11 países (Figura 1. 23), de los cuales en el Perú se establecieron 4 puntos GPS de orden cero (Piura, Lima, Iquitos y Arequipa), los cuales constituyeron la base de la REGGEN. Luego la segunda campaña de mediciones (2000), en el cual el número de puntos se ha visto incrementado, en el caso del Perú, se reobservaron los cuatro puntos anteriormente instalados y se establecieron seis nuevos puntos: Pucallpa, Puerto Maldonado, Talara, Matarani, La Punta y ERP (Figura 1. 24). La precisión de las coordenadas de estas dos realizaciones está entre ± 3 a ± 6 mm. La tercera campaña SIRGAS (2005) es la red SIRGAS de Operación Continua (SIRGAS-CON). Actualmente está compuesta por más de 200 estaciones GNSS de funcionamiento permanente, de las cuales 48 pertenecen la red global del IGS (Servicio Internacional de GNSS). Es de recalcar que la inclusión de estaciones GPS en los mareógrafos, definen los datums verticales de los distintos países, además de relacionar el datum vertical con el marco de referencia geométrico. Las elevaciones de las estaciones geodésicas GPS, están referidas al elipsoide WGS 84/ GRS 80, y difieren con las elevaciones referidas al Nivel Medio del Mar (NMM) y el Nivel Medio de Bajamares de Sicigias Ordinarias (NMBSO).

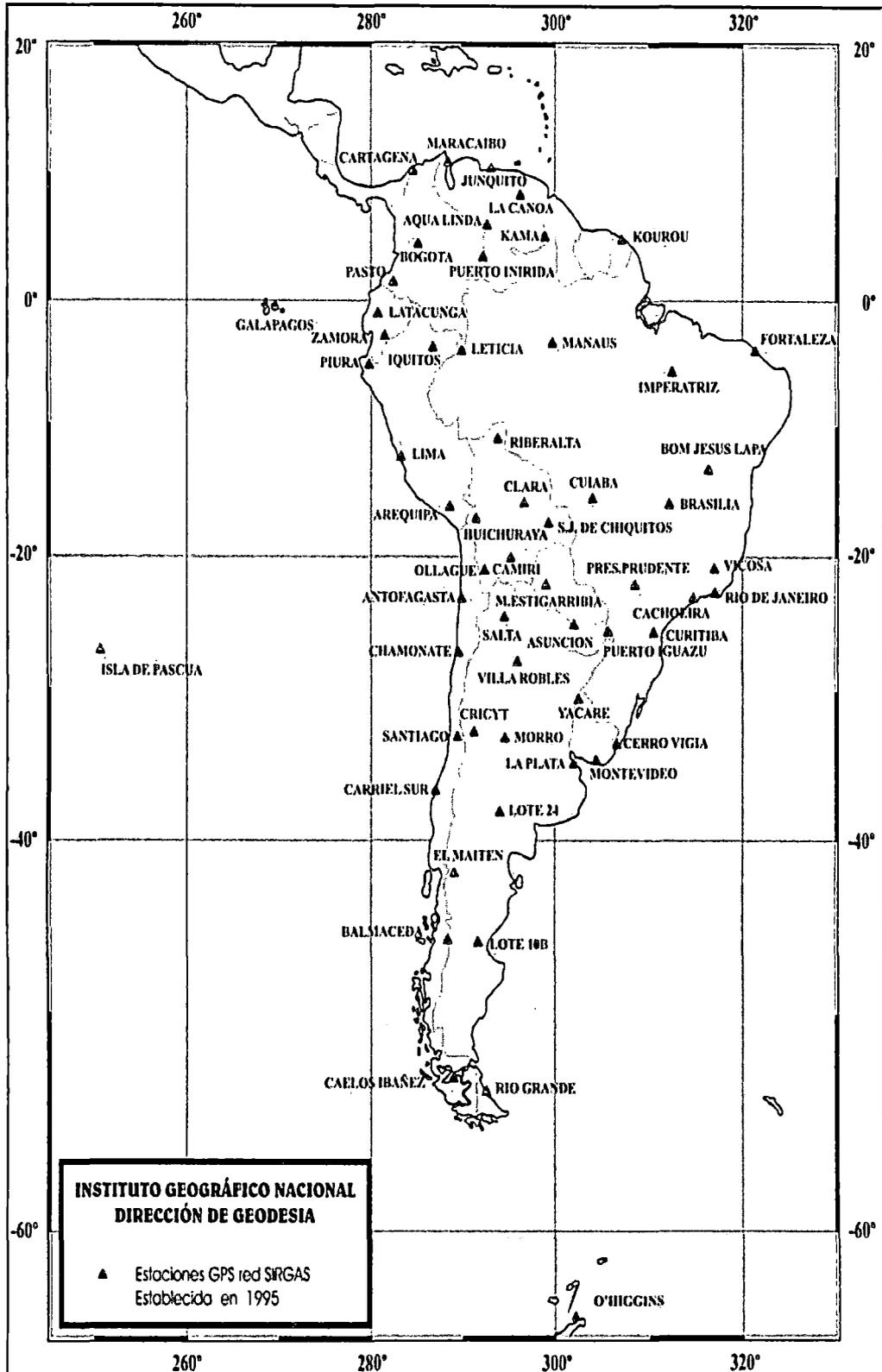


Figura 1. 23. Red de Estaciones SIRGAS (1995)

Fuente: IGN – Dirección de Geodesia.

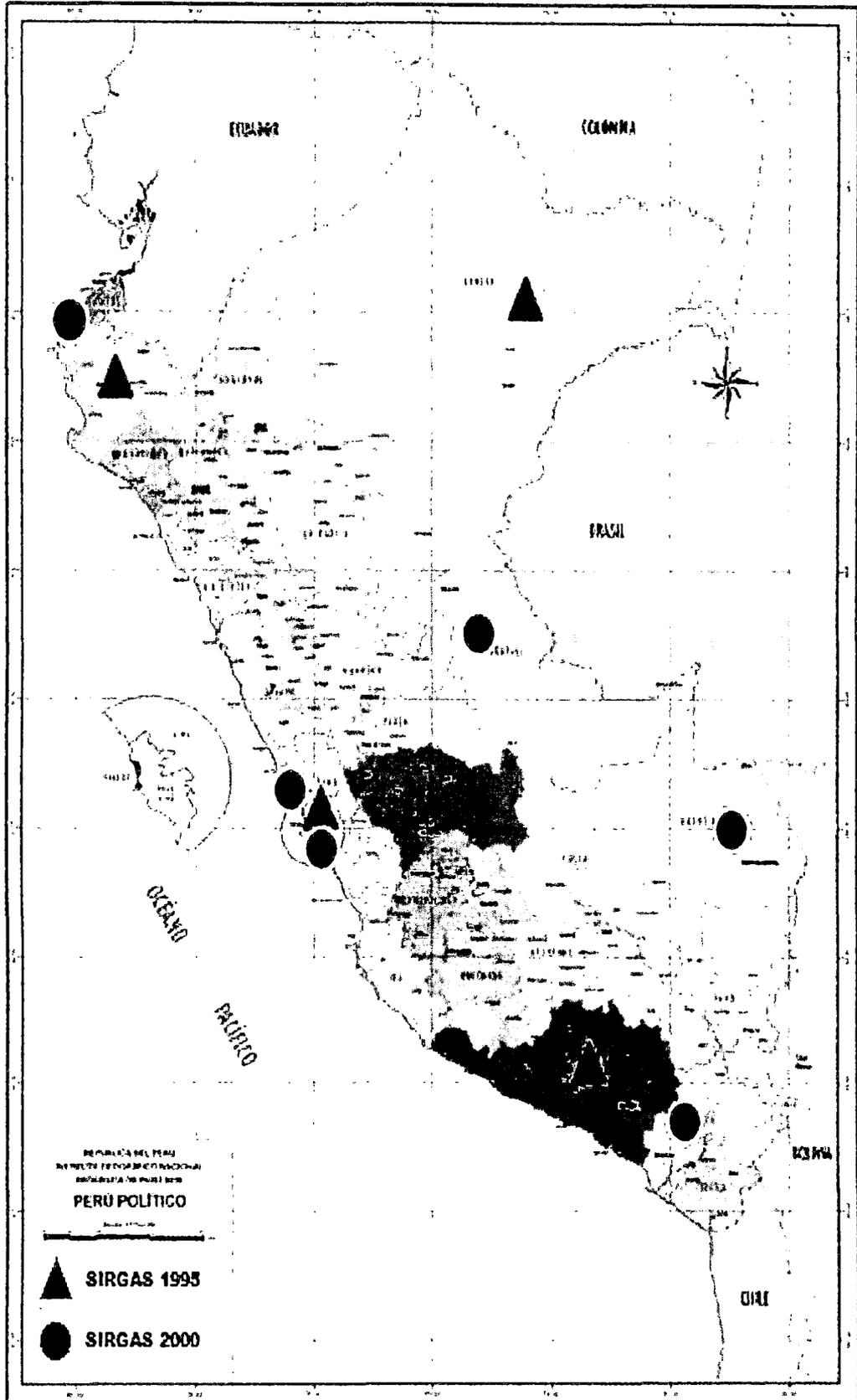


Figura 1. 24. Estaciones SIRGAS en el Perú (1995 y 2000)

Fuente: IGN – Dirección de Geodesia.

CAPÍTULO II: EL TIEMPO

2.1. EL TIEMPO

El tiempo permite establecer el instante en que acontece un fenómeno mediante la elección de una época inicial (origen) y una unidad de medida (escala).

2.2. ESCALAS DEL TIEMPO

Las escalas del tiempo han sufrido a lo largo de la historia una evolución. Las exigencias de la tecnología moderna hacen recomendable el desarrollo y mantenimiento de diferentes escalas de tiempo, cada una adaptada a un determinado requerimiento.

Los tres grupos básicos de escalas de tiempo son:

- tiempo sideral o universal,
- tiempo efemérides, tiempo dinámico o tiempo terrestre y
- tiempo atómico.

Todas estas escalas de tiempo se basan en la observación de fenómenos astronómicos y físicos uniformes y repetitivos. El intervalo de tiempo entre dos fenómenos consecutivos forma la medida de una escala particular de tiempo, mientras la determinación de la época refleja una medida de tiempo absoluta.

En general, el segundo (s) es usado como la unidad básica del tiempo. Unidades mayores de tiempo, tales como los días, semanas, meses y años, derivan del segundo.²²

❖ Tiempo sideral y tiempo universal

El tiempo sideral es igual al ángulo horario del equinoccio vernal (γ), por consiguiente depende de la longitud geográfica de la estación de observación.

De la Figura 2. 1 podríamos obtener las siguientes relaciones:

- Tiempo Sideral Aparente Local o verdadero (LAST), referido al equinoccio vernal verdadero. LAST es el ángulo horario entre el meridiano local y el equinoccio vernal verdadero.

²² Seeber Günter. **Satellite Geodesy**. Pág. 31

- Tiempo Sideral Aparente de Greenwich (GAST) es el ángulo horario entre el meridiano de Greenwich y el equinoccio vernal verdadero.
- Tiempo Sideral Medio Local (LMST) es el ángulo horario entre el meridiano local y el equinoccio vernal promedio.
- Tiempo Sideral Medio de Greenwich (GMST) es el ángulo horario entre el meridiano de Greenwich y el equinoccio vernal promedio.

La diferencia entre el tiempo sideral aparente y el tiempo sideral promedio se determina por la ecuación de equinoccios:

$$\text{GMST} - \text{GAST} = \Delta\psi \cos \varepsilon ; \text{ siendo } \Delta\psi \text{ la nutación en longitud.}$$

Para la longitud Λ del meridiano local:

$$\text{GMST} - \text{LMST} = \text{GAST} - \text{LAST} = \Lambda$$

El tiempo sideral aparente se usa para la evaluación de observaciones astronómicas. Sin embargo, para la construcción de una escala de tiempo sólo se usa el tiempo sideral medio. La unidad fundamental es el día sideral medio, definido como el intervalo entre dos trayectorias sucesivas del equinoccio vernal a través del meridiano. El día sideral medio no corresponde exactamente a una vuelta completa de la Tierra sobre su eje de giro con respecto al espacio inercial, porque la posición del equinoccio vernal está afectada por la precesión o llamado movimiento de trompo, causado por el momento de fuerza ejercido por el sistema Tierra-Sol. La diferencia diaria es de 0.0084s, siendo más corto el día sideral.²³

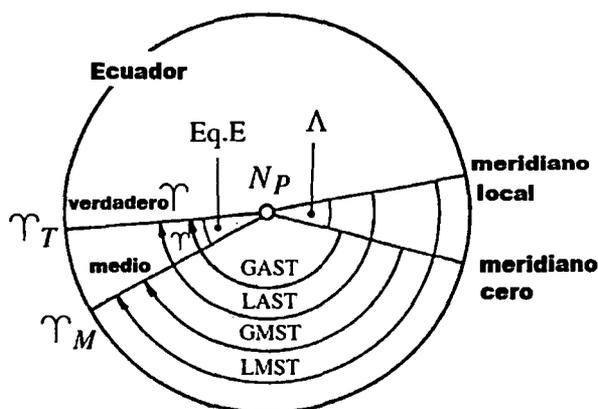


Figura 2. 1. Definición de Tiempo Sideral.

Fuente: Seeber Günter. *Satellite Geodesy* (2003)

²³ Seeber Günter. **Satellite Geodesy**. Pág. 33

El Tiempo Universal (UT) es el ángulo horario de Greenwich para el Sol medio ficticio, debido a que el ángulo horario del Sol verdadero presenta grandes variaciones durante el año, causadas por los cambios en la declinación del Sol y por la órbita elíptica de la Tierra.²⁴

El día solar medio es también definido como un intervalo entre dos trayectorias sucesivas del Sol medio ficticio a través del meridiano. Para propósitos prácticos el día empieza a la medianoche, por tanto:

$$UT = 12h + \text{ángulo horario en Greenwich del sol medio.}$$

El tiempo sideral y el tiempo universal están directamente relacionados con la rotación de la Tierra, por lo tanto son escalas de tiempo equivalentes. El tiempo universal puede ser considerado como una forma especial de tiempo sideral. La relación aproximada es:

$$1 \text{ día sideral medio} = 1 \text{ día solar medio} - 3\text{min } 55.909\text{s}$$

El tiempo universal puro UT_0_B , el cual se obtiene de observaciones a una estación particular B, está afectada aún por la influencia de la locación dependiente de la actual posición del polo verdadero. La reducción del Polo Terrestre Convencional (CTP) provoca un cambio, $\Delta\Lambda_p$, en la longitud y por consiguiente afecta al tiempo. El tiempo universal, el cual se refiere a CTP, se determina así:

$$UT1 = UT_0_B + \Delta\Lambda_p$$

UT1 es la escala fundamental de tiempo en astronomía geodésica y geodesia satelital, porque define la orientación real del sistema terrestre convencional en el espacio. UT1 es también la escala de tiempo básica para la navegación. Sin embargo, UT1 incluye todas las variaciones de la rotación de la Tierra y es por esto que no es una escala de tiempo uniforme.

Una corrección empírica para tomar en cuenta cambios de correcciones anuales en la velocidad de la rotación de la Tierra es añadida a UT1 para convertirlo en UT2.

Para muchos fines es conveniente utilizar una cuenta continua de días en lugar del calendario civil, con el fin de determinar los intervalos de tiempo. Una solución frecuente es la Fecha Juliana (JD). El número del día juliano es el número de días que ha transcurrido desde el mediodía del meridiano de

²⁴ Seeber Günter. **Satellite Geodesy**. Pág. 37

Greenwich del 1 de enero de 4 713 a. C. además un siglo juliano equivale a 36525 días.

La fecha juliana de un instante dado es el número del día juliano seguido por la fracción del día transcurrido desde el mediodía anterior. La Fecha Juliana Modificada (MJD) es una versión abreviada de la JD.

$$\text{MJD} = \text{JD} - 2\,400\,000.5$$

El mediodía se resta para que el día comience a la medianoche, como es el caso con el cálculo del tiempo civil. El MJD ha sido recomendado por diversos organismos internacionales como la Unión Astronómica Internacional (IAU) a modo del recuento de días decimal, que es independiente del calendario civil. MJD suele ser contada en tiempo universal (UT). El número de día juliano modificado tiene que ser distinguido del Día del Año (DOY). DOY se cuenta desde el inicio del año respectivo:

- para el año 2002: $\text{MJD} = 52275 + \text{DOY}$
- para el año 2003: $\text{MJD} = 52640 + \text{DOY}$
- para el año 2004: $\text{MJD} = 53005 + \text{DOY}$
- para el año 2005: $\text{MJD} = 53371 + \text{DOY}$

❖ **Tiempo efemérides, tiempo dinámico y tiempo terrestre**

Tanto el tiempo sideral como el universal presentan pequeñas imprecisiones debidas a las irregularidades de la rotación terrestre en torno a su eje de giro, además la Tierra está frenando gradualmente y el periodo de su órbita aumenta alrededor de una milésima de segundo cada 100 años.²⁵

En 1952 la IAU introdujo el Tiempo Efemérides (ET) como una escala de tiempo teóricamente uniforme para su uso con las efemérides (trayectoria de la órbita de los satélites). El segundo efemérides se definió como una cierta fracción del año tropical de 1900, desde entonces fue estrictamente uniforme. En la práctica, el ET se deriva de observaciones lunares sin consideraciones relativistas. Su precisión de lectura fue de sólo 0.1s en los promedios anuales.

En 1977 la IAU aprobó las llamadas escalas de tiempo dinámicos con el fin de satisfacer las necesidades derivadas de una formulación relativista del movimiento orbital, siendo:

²⁵ Herrera Rosado, Ralfo. **Apuntes del curso Geodesia Satelital**. FIC-UNI

- Tiempo Dinámico Baricéntrico (TDB) producto de los movimientos orbitales referidos al baricentro del sistema solar,
- Tiempo Dinámico Terrestre (TDT) se refiere a las efemérides geocéntricas, tiene ventaja en comparación con el TDB, porque es independiente de las diversas formas de las teorías relativistas.

Desde el 1 de enero de 1984, el tiempo dinámico se ha utilizado como argumento para las efemérides astronómicas. El segundo del Sistema Internacional de Unidades (SI) se presentó formalmente como la unidad de tiempo fundamental en la escala de TDT. En garantía de la continuidad del TDT se fijó igual a ET.

$$\text{TDT} \equiv \text{ET}$$

En 1991, la IAU definió las nuevas escalas de tiempo en el marco de la teoría de la relatividad general para aclarar las relaciones entre las coordenadas espacio-tiempo. En este concepto de una escala de tiempo es considerado como uno de los ejes de coordenadas de un sistema de referencia espacio-tiempo.

Las nuevas escalas de tiempo son:

- tiempo coordinado baricéntrico (TCB),
- tiempo de coordenada geocéntrico (TCG) y
- tiempo terrestre (TT).

El TT, es una nueva denominación para el TDT. La palabra "dinámico" ha sido omitida en el TT por ser una escala de tiempo idealizado y no se basa en teorías dinámicas. TT es el tiempo de referencia para las efemérides geocéntricas y por lo tanto la escala de tiempo principal para el tratamiento relativista de la órbitas de los satélites cercanos a la Tierra.

$$\text{TT} \equiv \text{TDT}$$

❖ **Tiempo atómico**

La medida precisa de los tiempos de recorrido una señal de tiempo, por ejemplo, el recorrido del láser al satélite, requiere de una escala de tiempo uniforme y fácilmente accesible de alta resolución. La escala apropiada está relacionada con los fenómenos de la física nuclear y es llamada Tiempo Atómico Internacional (TAI).

La unidad de tiempo atómico fue elegida de modo que es igual a la duración del segundo de las efemérides. El segundo en la escala de tiempo atómico, fue definido en la 13ra Conferencia del Comité Internacional de Pesos y Medidas, en París el año 1967, de la siguiente manera:

“El segundo es la duración de 9 192 631 770 periodos de la radiación correspondiente a la transición entre dos niveles hiperfinos en estado fundamental del átomo de cesio 133”.

Esta es también la definición de la unidad de tiempo del Sistema Internacional de Unidades (SI).

La escala internacional de tiempo atómico es actualizada por la Sección de Tiempo de la Oficina Internacional de Pesos y Medidas (Bureau International des Poids et Mesures, BIPM), en París, basándose en lecturas hechas a un gran número de relojes atómicos en varios laboratorios. La Oficina Internacional del Tiempo (BIH) fue responsable del control de las escalas de tiempo atómico hasta el 31 de diciembre de 1987.

El TAI se calcula como el promedio ponderado de los relojes individuales (alrededor de 250 relojes el 2002). Las lecturas son referidas a relojes fijos al nivel del mar.

La época del TAI coincidía con la época del UT1 el 1 de enero de 1958. La diferencia entre las escalas de tiempo estaba aumentando debido a la desaceleración de la rotación de la Tierra. La diferencia, para algunas fechas seleccionadas asciende a:

TAI – UT1 = +6.1s	el 1 de enero de 1968
= +16.4s	el 1 de enero de 1978
= +23.6s	el 1 de enero de 1988
= +30.8s	el 1 de enero de 1998
= +32.3s	el 1 de enero de 2003.

El tamaño relativamente grande de las diferencias se deriva al hecho de que la unidad del segundo del SI se adoptó a partir de la duración del segundo de las efemérides; y el segundo de las efemérides se derivó de la duración promedio del día solar entre 1756 y 1895, cuando la rotación de la Tierra era más rápida que en la actualidad.²⁶

²⁶ Seeber Günter. **Satellite Geodesy**. Pág. 36

En 1972 se introduce el Tiempo Universal Coordinado (UTC) que proporciona una unidad de tiempo altamente uniforme y mejor adaptación posible al UT1, por lo tanto a la rotación de Tierra. El UTC y el TAI difieren por un número entero "n" de segundos.

$$\text{UTC} = \text{TAI} - n$$

Dependiendo de la situación prevaleciente, n puede cambiarse a las fechas dadas, es decir al 1 de enero y/o el 1 de julio. Así, la época del UTC se adapta al UT1 insertando o quitando segundos intercalares "leap seconds". La unidad del UTC sigue siendo el segundo SI. La diferencia, DUT1, entre ambos tiempos no deben exceder 0.9 segundos en valor absoluto.

$$|\text{DUT1}| = |\text{UT1} - \text{UTC}| \leq 0.9\text{s.}$$

La DUT1 es distribuida en los boletines del IERS, debe tenerse en cuenta con todos los cálculos relacionados al sistema de la referencia Tierra-fija. En la mayoría de países la difusión de señales de tiempo, se refieren al UTC. El 1 de enero del 2003, la diferencia entre el TAI y el UTC fue:

$$\text{TAI} - \text{UTC}_{2010} = +34\text{s.}$$

También existe una diferencia constante de 32.184s (Figura 2. 2) entre la escala de tiempo TAI y el TDT (ET o TT) porque ésta última tiene como unidad fundamental el segundo SI.

$$\text{TT} \equiv \text{TDT} \equiv \text{ET} = \text{TAI} + 32.184\text{s.}$$

La escala de tiempo GPS es utilizada por el Sistema de Posicionamiento Global (GPS). El 5 de enero de 1980 las escalas de tiempo GPS y UTC tuvieron épocas idénticas, sin embargo difieren por un número entero de segundos, porque el tiempo GPS no es afectado por los segundos intercalares, en consecuencia el tiempo GPS cada vez es mayor que UTC. La unidad del tiempo GPS es el segundo del SI.

El tiempo GPS sólo se obtiene de relojes atómicos que forman parte del sistema GPS. Esto es a partir de una escala de tiempo atómica "libre" y puede manifestar pequeñas diferencias en comparación con el TAI. La relación entre UTC y el tiempo GPS se incluye en los boletines de tiempo del USNO y del BIPM, también es difundido dentro del "mensaje satelital GPS". Las diferencias aproximadas entre las escalas son:

- tiempo GPS - UTC₁₉₉₁ = +7 s
- tiempo GPS - UTC₂₀₀₃ = +13 s,

- tiempo GPS – UTC₂₀₁₁ = +15 s

Donde n es un número entero, y término de corrección C_0 es del orden de varios nanosegundos. Por lo tanto la recepción de las señales GPS proporciona acceso en tiempo real al TAI y UTC con las incertidumbres por debajo de 1 microsegundo.

Una relación similar es válida para el tiempo GLONASS y UTC. Considerar que UTC, tiempo GPS y el tiempo GLONASS son escalas de tiempo atómico.

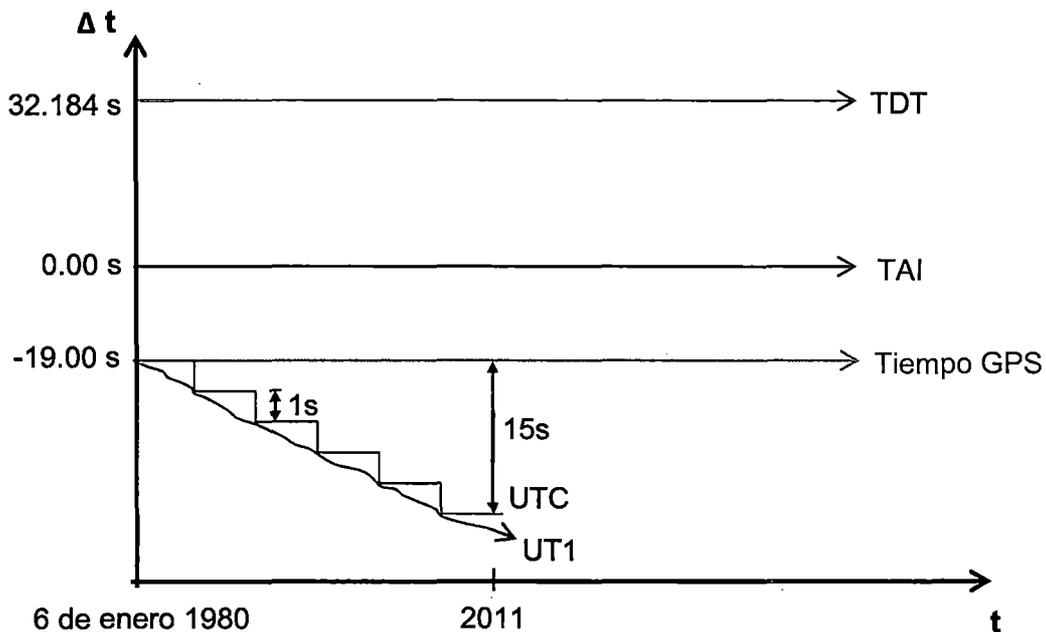


Figura 2. 2. Escalas de tiempo.

Fuente: Elaboración propia.

Se observa de la Figura 2. 2:

- UTC es conocido popularmente como Tiempo Meridiano de Greenwich (GMT) o tiempo Zulu. Las cero horas UTC es la medianoche en Greenwich (Inglaterra), que se ubica en el meridiano de longitud cero. El UTC se basa en las 24 horas de un reloj, por lo tanto, las horas de la tarde tales como las 4 p.m. serán expresadas en UTC 16:00 (dieciséis horas, con cero minutos).
- UTC difiere del tiempo civil de cierta región del mundo por el número de horas de la zona horaria, cada zona representa adición o sustracción de una hora al UTC, el mundo puede dividirse en bandas o zonas horarias de 15° de longitud (360°/24h).

- El tiempo GPS utiliza como unidad de tiempo el Número de Semana GPS (NSGPS) equivalente a 604800 segundos que empieza a medianoche entre el sábado y domingo. La cuenta de la semana GPS comenzó con el origen de la escala de tiempo GPS. Cuando se completó la semana 1023 el NSGPS se reinició, es decir, la medianoche de 21 de agosto de 1999 se comenzó a contar nuevamente desde 0.

2.3. RELOJES Y FRECUENCIA ESTÁNDAR

Durante toda la historia humana, la rotación de la Tierra era el estándar estable, con la cual todos los relojes mecánicos se midieron. Miles de años la humanidad trató de construir relojes más estables y precisos, así son: relojes de arena, relojes de péndulo, cronómetros marinos, etc. Luego, durante el siglo XX se pudo hacer relojes más estables que la propia Tierra (relojes atómicos).

Los relojes atómicos cumplen con altas demandas tanto en tiempo como frecuencia. El rendimiento de frecuencias estándar debe llegar a una estabilidad por arriba de 10^{-15} sobre varias horas.

El componente más importante de un reloj es el sistema oscilante (oscilador). El movimiento periódico de este sistema tiene que ser generado, mantenido y sustituido por medios apropiados.²⁷

❖ Osciladores de cristal de cuarzo

Son suficientes como generadores de tiempo en los receptores de los satélites, cuando continuamente son controlados y ubicados por señales externas, como las señales de tiempo y de frecuencia de los satélites. Este es por ejemplo, en el caso de los satélites GPS.

Las características del oscilador de cuarzo:

- son completamente sensibles a las variaciones de temperatura,
- son propensos a sufrir un envejecimiento bastante fuerte.

En la práctica es de suma importancia que el cuarzo funcione en condiciones estables de temperatura, sin interrupciones y perturbaciones. La estabilidad de frecuencia por día puede variar de 10^{-9} a 10^{-13} . Su precisión pierde o gana un segundo en 30 años.

²⁷ Seeber Günter. **Satellite Geodesy**. Pág. 40

❖ **Osciladores de rubidio de frecuencia estándar**

El rasgo característico de los osciladores de rubidio de frecuencia estándar es su excelente estabilidad a largo plazo. Se puede utilizar como un oscilador externo para las observaciones GPS. Un reloj de rubidio puede llegar a una estabilidad de 10^{-13} por día en las mejores condiciones. Su precisión pierde o gana un segundo en 30 000 años.

❖ **Osciladores de cesio de frecuencia estándar**

Los osciladores de cesio de frecuencia estándar debido a su gran constancia a corto y largo plazo, pueden ser considerados como relojes atómicos por su "excelente equivalencia". Reunidos en grupos, constituyen el núcleo de los laboratorios de tiempo y además están presentes en las estaciones de observación fundamental a los satélites, en estaciones de rastreo del control de órbitas, o en sistemas de telemetría por láser. La base del tiempo en los satélites GPS es realizada a través de osciladores estándar de cesio y rubidio. En la actualidad los osciladores estándar de cesio son transportables y disponibles comercialmente. El haz de cesio estándar del laboratorio puede realizar el segundo con una precisión de 1.5×10^{-14} . Comercialmente los estándares disponibles a la venta son menos precisos, pero puede ser igual al estándar del laboratorio por períodos de hasta alrededor de 1 año. Su precisión pierde o gana un segundo en 300 000 años.

❖ **Másers de hidrógeno**

Los másers de hidrógeno son necesarios para encontrar las máximas precisiones exigidas, tal como los requeridos por la Interferometría de línea Base Muy Larga (VLBI). Una estabilidad de frecuencia $\sigma_{(\Delta f/f)}$ de 10^{-15} es requerida por un periodo de tiempo que dure de 10^2 a 10^5 segundos. Los másers de hidrógeno son muy sensibles y hasta la fecha sólo han estado en operación bajo condiciones de laboratorio.

Su precisión pierde o gana un segundo en 30 000 000 años.

CAPÍTULO III: DESARROLLO

3.1. DISTRIBUCIÓN DE LOS VÉRTICES GEODÉSICOS O PUNTOS GPS

El desarrollo de la presente tesis comenzó con la identificación de los puntos GPS, como el punto de referencia (BASE) que es una estación de rastreo permanente del Instituto Geográfico Nacional (IGN), ubicada en el distrito de Surquillo, Lima. Los demás puntos (rovers) serán ubicados considerando la distancia del vector línea base, tal como se muestra en la Tabla 3. 1.

Tabla 3. 1. Distribución de puntos GPS

Punto	Distancia aproximada
Punto 1	1 kilómetro
Punto 2	5 kilómetros
Punto 3	10 kilómetros
Punto 4	20 kilómetros
Punto 5	50 kilómetros
Punto 6	100 kilómetros
Punto 7	150 kilómetros
Punto 8	200 kilómetros
Punto 9	300 kilómetros
Punto 10	500 kilómetros

Fuente: Elaboración propia.

❖ Ubicación de los vértices geodésicos o puntos GPS

Punto BASE: Ubicada en el distrito de Surquillo, provincia de Lima y región Lima. El acceso es por la Av. Andrés Aramburú 1190-1198, en el Instituto Geográfico Nacional (IGN) y está localizado en la azotea de la Dirección de Geodesia. Está convenientemente materializado en una base de tribraquio incrustada en un monumento de concreto en la cual se encuentra instalada la antena GNSS de forma permanente.

Coordenadas geodésicas absolutas (información adquirida del IGN, para más detalle ver el Anexo B)

- Latitud (S) 12° 6' 10.86386"
- Longitud (O) 77° 1' 0.987786"
- Altura Elipsoidal 157.6097 m.



Figura 3. 1. Punto BASE

Punto 1: Localizado en el distrito de Miraflores, provincia de Lima y región Lima. El acceso es por la Av. Arequipa 4130, es un edificio para oficinas, que consta de dos bloques y ocho pisos cada uno. Está ubicado en la azotea del segundo bloque.

Coordenadas geodésicas aproximadas (información obtenida del Google Earth)

- Latitud (S) $12^{\circ} 6' 26''$
- Longitud (O) $77^{\circ} 1' 55''$



Figura 3. 2. Punto 1

Punto 2: Ubicado en el distrito de La Victoria, provincia de Lima y región Lima. El acceso es por la Av. Sáenz Peña 513 en la azotea (edificio de 4 pisos).

Coordenadas geodésicas aproximadas (información obtenida del Google Earth)

- Latitud (S) $12^{\circ} 3' 59''$
- Longitud (O) $77^{\circ} 1' 47''$



Figura 3.3. Punto 2

Punto 3: Se encuentra localizado en el distrito del Rímac, provincia de Lima y región Lima. Ubicada en el patio de la Facultad de Ingeniería Geológica, Minera y Metalúrgica (FIGMM) de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI).

Coordenadas geodésicas aproximadas (información obtenida del Google Earth)

- Latitud (S) $12^{\circ} 1' 14''$
- Longitud (O) $77^{\circ} 2' 53''$



Figura 3.4. Punto 3

Punto 4: Situado en el distrito de Ate-Vitarte, provincia de Lima, región Lima. El acceso es por la Carretera Central km 14.5, en la Urb. Gloria Alta, Mz. E, Lote 8. Colocado en el tercer piso de la vivienda.

Coordenadas geodésicas aproximadas (información obtenida del Google Earth)

- Latitud (S) $12^{\circ} 0' 45''$
- Longitud (O) $77^{\circ} 51' 13''$

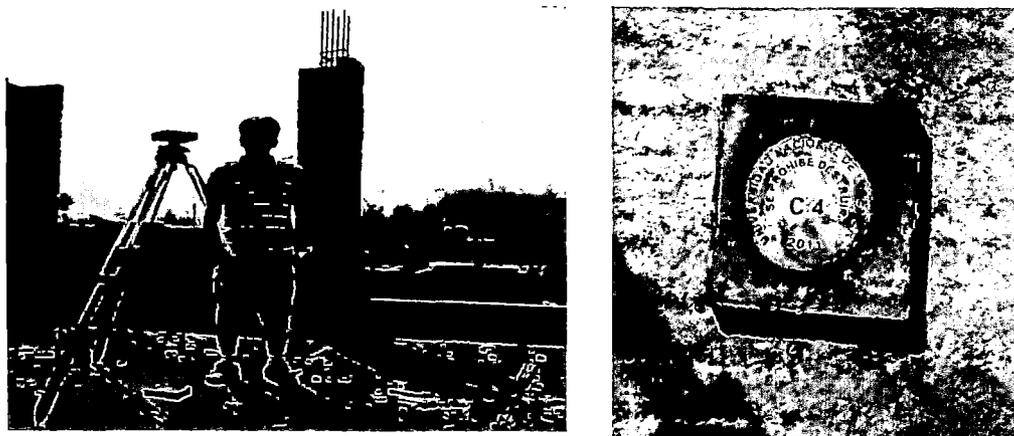


Figura 3. 5. Punto 4

Punto 5: El acceso es por la Carretera Central km 48.5, en la zona de Corcona, distrito de Santa Cruz de Cocachacra, provincia de Huarochirí y región Lima. Ubicado en la azotea del hotel “Corcona” (1 piso) que está frente de la plaza central.

Coordenadas geodésicas aproximadas (información obtenida del Google Earth)

- Latitud (S) 11° 54' 36"
- Longitud (O) 76° 34' 49"



Figura 3. 6. Punto 5

Punto 6: Se ubica en la localidad de Calzada del distrito de Chicla, provincia de Huarochirí, región Lima. Siendo el acceso por la Carretera Central km 106, frente a la casa comunal y aldeaño al río Rímac.

Coordenadas geodésicas aproximadas (información obtenida del Google Earth)

- Latitud (S) 11° 41' 44"
- Longitud (O) 76° 15' 56"



Figura 3.7. Punto 6

Punto 7: Localizado en el distrito de Tarma, provincia de Tarma y región Junín. El acceso es por el Jr. La Ermita cuadra 4, ubicado en la azotea (vivienda de 2 pisos)

Coordenadas geodésicas aproximadas (información obtenida del Google Earth)

- Latitud (S) $11^{\circ} 24' 25''$
- Longitud (O) $75^{\circ} 40' 55''$



Figura 3.8. Punto 7

Punto 8: Ubicado en la Urb. Nueva Vista, distrito de San Ramón, provincia de Chanchamayo y región Junín. El acceso es por la calle Las Brisas 551 en la azotea de la vivienda (1 piso).

Coordenadas geodésicas aproximadas (información obtenida del Google Earth)

- Latitud (S) $11^{\circ} 7' 30''$
- Longitud (O) $75^{\circ} 21' 10''$

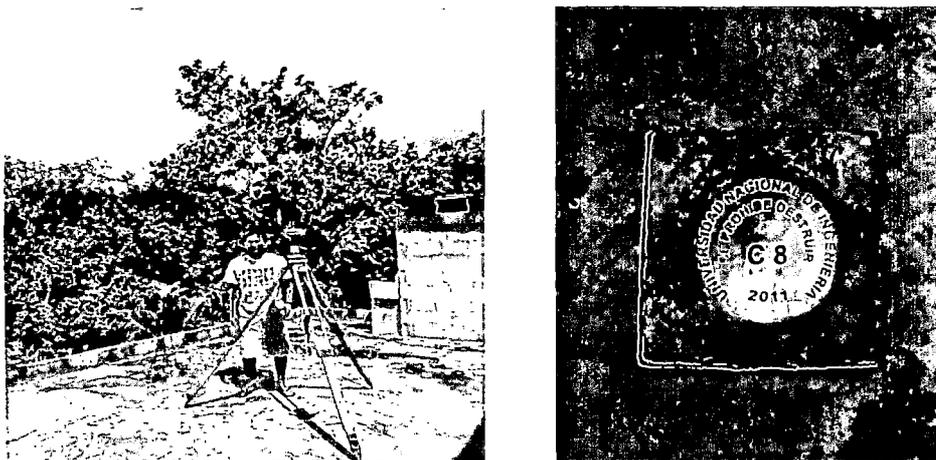


Figura 3. 9. Punto 8

Punto 9: Se encuentra ubicado en el distrito Rupa Rupa (Tingo María), provincia de Leoncio Prado y región Huánuco. El acceso es por la Av. Tito Jaime N° 693 localizada en la Iglesia Evangélica Peruana.

Coordenadas geodésicas aproximadas (información obtenida del Google Earth)

- Latitud (S) 9° 17' 45"
- Longitud (O) 76° 0' 3"

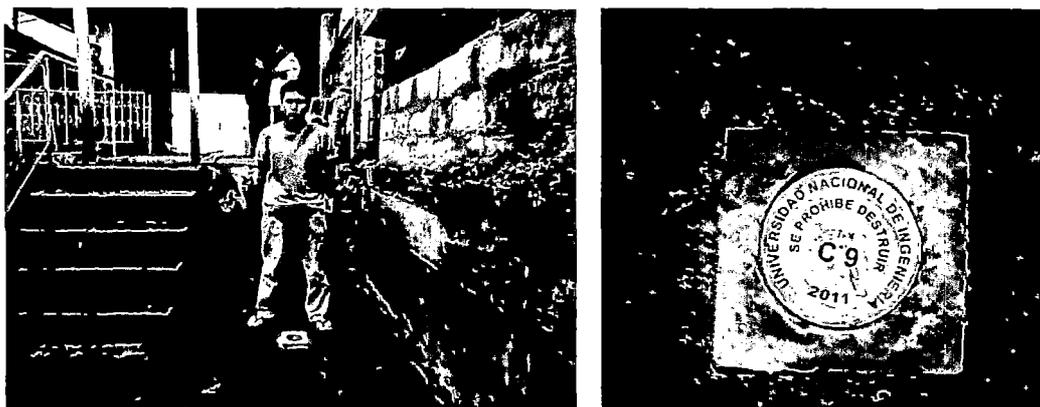


Figura 3. 10. Punto 9

Punto 10: Ubicado en el distrito de Callería (Pucallpa), provincia Coronel Portillo y región Ucayali. El acceso es por el Jr. Revolución N° 620, localizada en el patio de la vivienda.

Coordenadas geodésicas aproximadas (información obtenida del Google Earth)

- Latitud (S) 8° 30' 8"
- Longitud (O) 74° 30' 50"

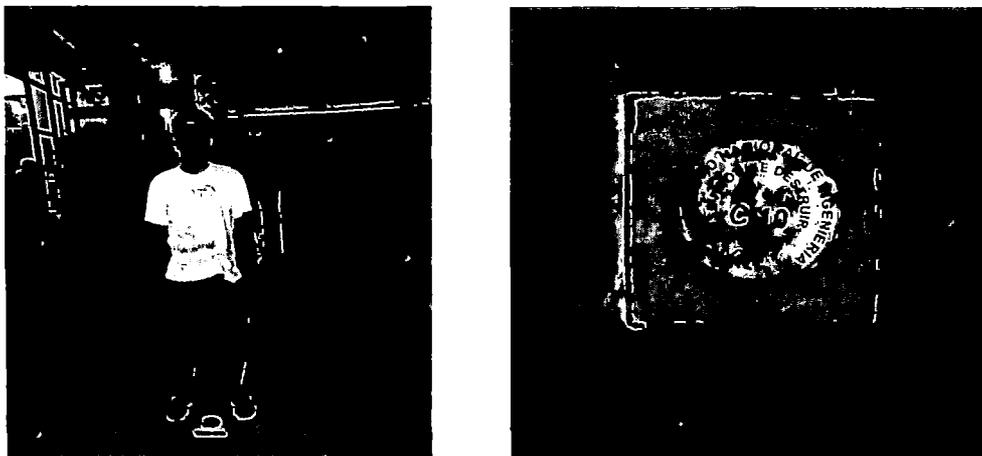


Figura 3. 11. Punto 10

3.2. EQUIPOS UTILIZADOS



Figura 3. 12. Brújula marca BRUNTON.

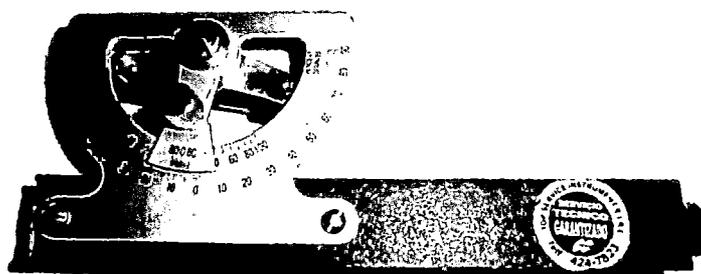


Figura 3. 13. Eclímetro de mano marca ABNEY.

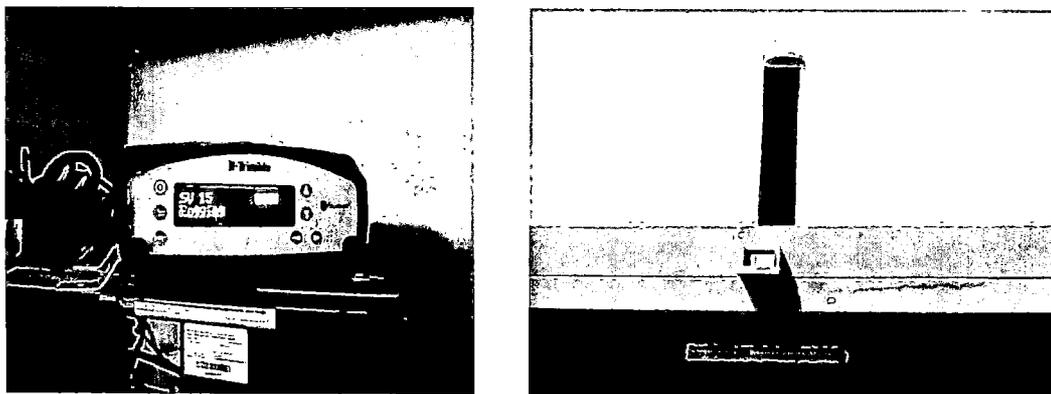


Figura 3. 14 Receptor GPS diferencial de doble frecuencia, marca TRIMBLE (izquierda), modelo Net R5, con una antena externa tipo Zephyr Geodetic 2 (derecha).
(para más detalle de las características técnicas del equipo ver el Anexo B)

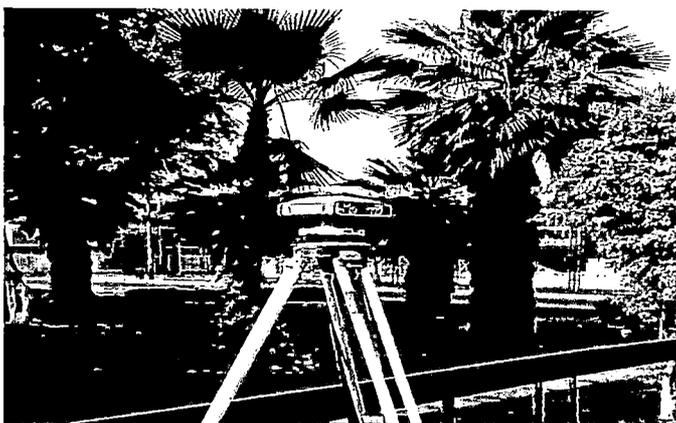


Figura 3. 15. Receptor GPS diferencial de doble frecuencia, marca TOPCON y modelo Hiper+
(para más detalle de las características técnicas del equipo ver el Anexo C)

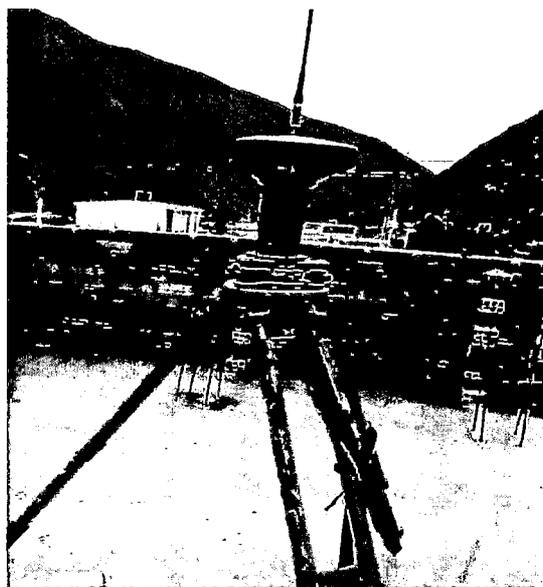


Figura 3. 16. Receptor GPS diferencial de multifrecuencia, marca TOPCON y modelo GR-3
(para más detalle de las características técnicas del equipo ver el Anexo C)

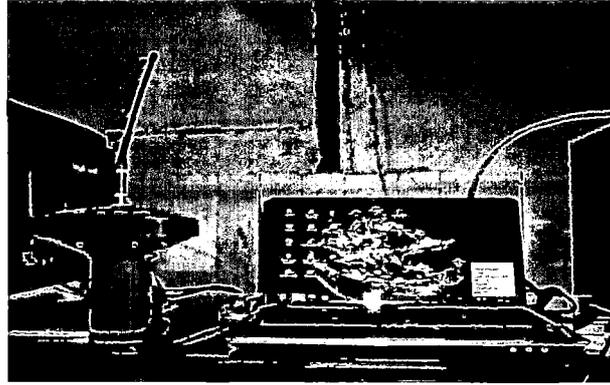


Figura 3. 17 Una computadora portátil.

3.3. TIPOS DE SOFTWARE UTILIZADOS

- Occupation Planning, se utilizó en el planeamiento de las observaciones satelitales.
- PC-CDU (versión 2.1.14p Lite) se empleó en la transferencia de información del receptor GPS a la computadora.
- Topcon Tools (versión 8.2) permitió el post-procesamiento de la información para obtener las coordenadas de los puntos GPS.
- Microsoft Excel, se usó para la edición de los resultados del post-procesamiento y para el ajuste de curva del tiempo mínimo de observación satelital.

3.4. PLANEAMIENTO DE LAS OBSERVACIONES GPS

En términos de mejor precisión en las observaciones GPS, aumento de la productividad y reducción de costos, es preferible realizar un planeamiento de las observaciones GPS para cada punto, con el fin de elegir el mejor horario de observación satelital con los períodos mínimos de cobertura de los satélites.

Las obstrucciones cercanas a un punto, podrían interferir en la señal de los satélites. El factor DOP (Dilución de la Precisión), refleja la configuración geométrica de los satélites, una mala distribución de satélites ocasiona disminución en la precisión del GPS (ver Tabla 3. 2). Por lo tanto es importante considerarlo en el planeamiento.

El valor DOP más útil es el GDOP, ya que es una combinación de todos los factores. Sin embargo, algunos receptores calculan el PDOP o HDOP, valores que no toman en consideración el componente de tiempo. Un GDOP bajo

garantiza una buena geometría. Se utilizó el software Occupation Planning para el planeamiento de las observaciones, la cual necesita información como:

- Un almanaque de satélites GPS y GLONASS.
- Coordenadas del punto de estación (latitud y longitud con 1" de aproximación).
- Levantamiento de las obstrucciones (ángulo vertical y azimut) que rodean al punto de estación.

La presente investigación obtuvo el almanaque de satélites de un receptor GPS que había recolectado información de una observación satelital cuya antigüedad no exceda los 30 días al día proyectado. Además se ayudó del Google Earth para la localización aproximada de los puntos de estación, se empleó un eclímetro y una brújula para el levantamiento de las obstrucciones.

En el planeamiento de todos los puntos GPS se consideraron un PDOP de 8 y un ángulo de elevación sobre el horizonte de 15°. La planificación y los resultados se adjuntan en el Anexo A.

Tabla 3. 2. Clasificación del DOP.

DOP	Clasificación	Descripción
0	Ideal	Es el más alto nivel de confianza, pero difícil de obtener.
1-3	Excelente	El nivel de confianza se considera suficientemente exacto, aplicables para mediciones de alta precisión.
4-6	Bueno	Representa un alto nivel de confianza y es aplicable para mediciones ordinarias.
7-8	Moderado	Las mediciones bajo estas circunstancias pueden ser tomadas en consideración, sin embargo es recomendable mejorar la calidad del trabajo.
9-20	Justo	Representa un bajo nivel de confianza. Las mediciones deben ser eliminadas o servirán solo para indicar una estimación aproximada de la posición.
21-50	Pobre	En este nivel, las mediciones son inexactas.

Fuente: Mendoza Dueñas, J. Apuntes del curso Geodesia Satelital FIC-UNI (2011)

3.5. PROCESAMIENTO DE OBSERVACIONES GPS

Una vez terminado el planeamiento de las observaciones, se empieza con las observaciones (mediciones) GPS. El método de observaciones GPS utilizado fue el método diferencial - estático.

3.5.1. Método diferencial - estático

El método diferencial - estático consiste en observar y calcular una línea base (vector desplazamiento) entre dos receptores GPS, el receptor BASE, ubicado en un punto de coordenadas conocidas (coordenadas absolutas) y el receptor ROVER, instalado en un punto de coordenadas por conocer. Estos dos receptores deben observar el mismo conjunto de satélites simultáneamente. Entonces en la estación BASE se puede saber el error en la medida del GPS (coordenadas navegadas y coordenadas absolutas), comparando la distancia de los satélites a los receptores y la línea base de los receptores se asume que el error es el mismo en ambos receptores. Con ese error se puede corregir las coordenadas navegadas de la estación ROVER. Se recomienda el uso de receptores GPS de doble frecuencia (L1 y L2), para eliminar en gran parte las perturbaciones atmosféricas (troposféricas e ionosféricas) principalmente la ocasionada por la ionósfera.

3.5.2. Descripción de las observaciones GPS

- La estación BASE posee una duración de observación de 24 horas, inicia a las 00:00 horas GMT, en la hora local GMT-05:00 horas (19:00 horas), así como un ángulo de elevación de 10° sobre el horizonte, un intervalo de grabación cada 5 segundos. El archivo de datos se adquirió de la estación de rastreo permanente GPS del Instituto Geográfico Nacional, además se compró el certificado de la estación permanente del IGN (adjuntada en el Anexo B) empleándola para las coordenadas absolutas del punto BASE.
- La estación ROVER tiene un PDOP menor que 8, ángulo de elevación de 15° sobre el horizonte, intervalo de grabación de 10 segundos y método de observación (estático). El receptor se configuró con una computadora mediante el software PC-CDU. Además se anotaron en campo: altura de la antena por encima de la marca del punto GPS

(altura inclinada), duración de la observación y el tipo de antena (GR-3 ó Hiper+).

Existen dos tipos de altura de antena:

- ✓ vertical, medida desde la marca del punto GPS al Punto de Referencia de la Antena (ARP) ubicado en el extremo inferior del receptor en la base de las roscas de montaje (Figura 3. 18)
- ✓ inclinada, medida desde la marca del punto GPS al borde inferior de la Marca de Medición de Altura Inclinada (SHMM) ubicada en los paneles posteriores del receptor (Figura 3. 18)

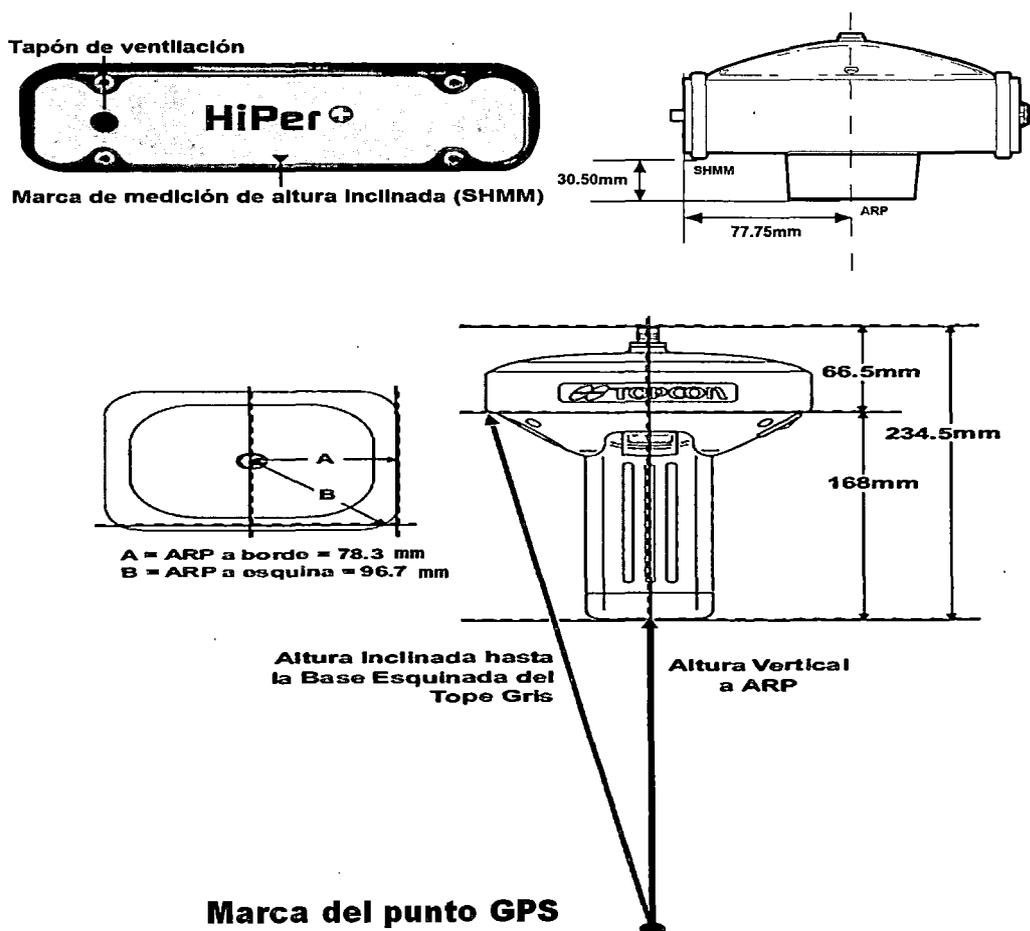


Figura 3. 18. Altura inclinada y vertical; Hiper+ (superior), GR-3 (inferior)

Fuente: Topcon Positioning Systems. Manual del Operador del Hiper+ (2003) y GR-3 (2006)

Tabla 3. 3.Descripción de la observación GPS en el punto 1.

Nombre del archivo de datos	Tipo de antena	Altura Vertical de la antena (m)	Altura Inclínada de la antena (m)	Hora de Inicio	Hora de término	Duración	Intervalo de grabación (ms)	Método de observación	Código
David1204b_ZDA8	HiPer+	1.465	1.498	04/12/2011 09:04	04/12/2011 09:06	00:02:00	10000	Estático	ROVER
David1204c_ZDA8	HiPer+	1.465	1.498	04/12/2011 09:07	04/12/2011 09:11	00:04:10	10000	Estático	ROVER
David1204d_ZDA8	HiPer+	1.465	1.498	04/12/2011 09:12	04/12/2011 09:20	00:08:10	10000	Estático	ROVER
David1204e_ZDA8	HiPer+	1.465	1.498	04/12/2011 09:21	04/12/2011 09:36	00:14:50	10000	Estático	ROVER
David1204f_ZDA8	HiPer+	1.465	1.498	04/12/2011 09:37	04/12/2011 10:08	00:31:20	10000	Estático	ROVER
David1204g_ZDA8	HiPer+	1.465	1.498	04/12/2011 10:09	04/12/2011 11:09	01:00:20	10000	Estático	ROVER
David1204h_ZDA8	HiPer+	1.465	1.498	04/12/2011 11:10	04/12/2011 13:10	02:00:00	10000	Estático	ROVER
David1204i_ZDA8	HiPer+	1.465	1.498	04/12/2011 13:11	04/12/2011 16:11	03:00:00	10000	Estático	ROVER
LI01	TRM55971.00	0.089		03/12/2011 19:00	04/12/2011 19:00	24:00:00	5000	Estático	BASE

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. 4.Descripción de la observación GPS en el punto 2.

Nombre del archivo de datos	Tipo de antena	Altura Vertical de la antena (m)	Altura Inclínada de la antena (m)	Hora de Inicio	Hora de término	Duración	Intervalo de grabación (ms)	Método de observación	Código
David1202a_ZDA8	HiPer+	1.15	1.183	02/12/2011 03:36	02/12/2011 03:38	00:02:20	10000	Estático	ROVER
David1202b_ZDA8	HiPer+	1.15	1.183	02/12/2011 03:39	02/12/2011 03:43	00:04:00	10000	Estático	ROVER
David1202c_ZDA8	HiPer+	1.15	1.183	02/12/2011 03:44	02/12/2011 03:52	00:08:10	10000	Estático	ROVER
David1202d_ZDA8	HiPer+	1.15	1.183	02/12/2011 03:53	02/12/2011 04:09	00:15:30	10000	Estático	ROVER
David1202e_ZDA8	HiPer+	1.15	1.183	02/12/2011 04:09	02/12/2011 04:39	00:30:10	10000	Estático	ROVER
David1202f_ZDA8	HiPer+	1.15	1.183	02/12/2011 04:40	02/12/2011 05:41	01:00:30	10000	Estático	ROVER
David1202g_ZDA8	HiPer+	1.15	1.183	02/12/2011 05:42	02/12/2011 07:42	02:00:00	10000	Estático	ROVER
David1202h_ZDA8	HiPer+	1.15	1.183	02/12/2011 07:44	02/12/2011 10:28	02:44:00	10000	Estático	ROVER
LI01	TRM55971.00	0.089		01/12/2011 19:00	02/12/2011 19:00	24:00:00	5000	Estático	BASE

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. 5.Descripción de la observación GPS en el punto 3 (receptor Hiper+)

Nombre del archivo de datos	Tipo de antena	Altura Vertical de la antena (m)	Altura Inclínada de la antena (m)	Hora de Inicio	Hora de término	Duración	Intervalo de grabación (ms)	Método de observación	Código
hiper+1201a_ZDA8	HiPer+	1.566	1.598	01/12/2011 07:32	01/12/2011 07:42	00:10:00	5000	Estático	ROVER
hiper+1201b_ZDA8	HiPer+	1.566	1.598	01/12/2011 07:43	01/12/2011 08:03	00:20:15	5000	Estático	ROVER
hiper+1201c_ZDA8	HiPer+	1.566	1.598	01/12/2011 08:04	01/12/2011 08:34	00:29:55	5000	Estático	ROVER
hiper+1201d_ZDA8	HiPer+	1.566	1.598	01/12/2011 08:36	01/12/2011 09:37	01:01:05	5000	Estático	ROVER
hiper+1201e_ZDA8	HiPer+	1.566	1.598	01/12/2011 09:37	01/12/2011 11:38	02:00:45	5000	Estático	ROVER
hiper+1201f_ZDA8	HiPer+	1.566	1.598	01/12/2011 11:39	01/12/2011 15:42	04:03:10	5000	Estático	ROVER
LI01	TRM55971.00	0.089		30/11/2011 19:00	01/12/2011 19:00	24:00:00	5000	Estático	BASE

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. 6.Descripción de la observación GPS en el punto 3 (receptor GR-3)

Nombre del archivo de datos	Tipo de antena	Altura Vertical de la antena (m)	Altura Inclínada de la antena (m)	Hora de Inicio	Hora de término	Duración	Intervalo de grabación (ms)	Método de observación	Código
UNIO125o000_VE00	GR-3	1.327	1.498	25/01/2012 09:23	25/01/2012 09:44	00:21:00	10000	Estático	ROVER
UNIO125o_VE00	GR-3	1.327	1.498	25/01/2012 09:11	25/01/2012 09:22	00:11:00	10000	Estático	ROVER
UNIO125o001_VE00	GR-3	1.327	1.498	25/01/2012 09:45	25/01/2012 10:16	00:31:00	10000	Estático	ROVER
UNIO125p_VE00	GR-3	1.327	1.498	25/01/2012 10:18	25/01/2012 11:19	01:01:20	10000	Estático	ROVER
UNIO125q_VE00	GR-3	1.327	1.498	25/01/2012 11:20	25/01/2012 13:23	02:02:30	10000	Estático	ROVER
UNIO125s_VE00	GR-3	1.327	1.498	25/01/2012 13:25	25/01/2012 16:36	03:10:30	10000	Estático	ROVER
UNIO125v_VE00	GR-3	1.327	1.498	25/01/2012 16:36	25/01/2012 16:39	00:02:30	10000	Estático	ROVER
UNIO125v000_VE00	GR-3	1.327	1.498	25/01/2012 16:39	25/01/2012 16:43	00:04:10	10000	Estático	ROVER
UNIO125v001_VE00	GR-3	1.327	1.498	25/01/2012 16:44	25/01/2012 16:53	00:08:30	10000	Estático	ROVER
LI01	TRM55971.00	0.089		24/01/2012 19:00	25/01/2012 19:00	24:00:00	5000	Estático	BASE

La observación en el punto 3 se realizó con un receptor Hiper+ y GR-3 en diferentes días, es el único caso donde se observó dos veces el mismo punto.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. 7.Descripción de la observación GPS en el punto 4.

Nombre del archivo de datos	Tipo de antena	Altura Vertical de la antena (m)	Altura Inclínada de la antena (m)	Hora de Inicio	Hora de término	Duración	Intervalo de grabación (ms)	Método de observación	Código
David1203b_ZDA8	HiPer+	1.367	1.4	03/12/2011 16:30	03/12/2011 16:51	00:20:30	10000	Estático	ROVER
David1203c_ZDA8	HiPer+	1.367	1.4	03/12/2011 16:51	03/12/2011 17:31	00:40:20	10000	Estático	ROVER
David1203d_ZDA8	HiPer+	1.367	1.4	03/12/2011 17:32	03/12/2011 18:34	01:01:40	10000	Estático	ROVER
David1203e_ZDA8	HiPer+	1.367	1.4	03/12/2011 18:34	03/12/2011 20:35	02:01:20	10000	Estático	ROVER
David1203f_ZDA8	HiPer+	1.367	1.4	03/12/2011 20:36	03/12/2011 23:42	03:06:10	10000	Estático	ROVER
LI01	TRM55971.00	0.089		02/12/2011 19:00	04/12/2011 19:00	48:00:00	5000	Estático	BASE

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. 8.Descripción de la observación GPS en el punto 5.

Nombre del archivo de datos	Tipo de antena	Altura Vertical de la antena (m)	Altura Inclínada de la antena (m)	Hora de Inicio	Hora de término	Duración	Intervalo de grabación (ms)	Método de observación	Código
CORC0121o_VE00	GR-3	1.249	1.42	21/01/2012 09:54	21/01/2012 10:19	00:25:30	10000	Estático	ROVER
CORC0121p_VE00	GR-3	1.249	1.42	21/01/2012 10:20	21/01/2012 11:21	01:00:40	10000	Estático	ROVER
CORC0121q_VE00	GR-3	1.249	1.42	21/01/2012 11:22	21/01/2012 13:23	02:01:00	10000	Estático	ROVER
CORC0121s_VE00	GR-3	1.249	1.42	21/01/2012 13:24	21/01/2012 18:24	05:00:10	10000	Estático	ROVER
CORC0121x_VE00	GR-3	1.249	1.42	21/01/2012 18:26	21/01/2012 18:56	00:30:30	10000	Estático	ROVER
CORC0122a_VE00	GR-3	1.249	1.42	21/01/2012 19:02	21/01/2012 23:03	04:01:00	10000	Estático	ROVER
CORC0122e_VE00	GR-3	1.249	1.42	21/01/2012 23:05	22/01/2012 02:06	03:01:00	10000	Estático	ROVER
LI01	TRM55971.00	0.089		20/01/2012 19:00	21/01/2012 19:00	24:00:00	5000	Estático	BASE
LI01	TRM55971.00	0.089		21/01/2012 19:00	22/01/2012 19:00	24:00:00	5000	Estático	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. 9.Descripción de la observación GPS en el punto 6.

Nombre del archivo de datos	Tipo de antena	Altura Vertical de la antena (m)	Altura Inclínada de la antena (m)	Hora de Inicio	Hora de término	Duración	Intervalo de grabación (ms)	Método de observación	Código
CASP0120o_VEO0	GR-3	1.357	1.528	20/01/2012 09:50	20/01/2012 14:52	05:01:50	10000	Estático	ROVER
CASP0120t_VEO0	GR-3	1.357	1.528	20/01/2012 14:53	20/01/2012 18:57	04:04:20	10000	Estático	ROVER
CASP0121a_VEO0	GR-3	1.357	1.528	20/01/2012 19:05	20/01/2012 22:06	03:00:10	10000	Estático	ROVER
CASP0121d_VEO0	GR-3	1.357	1.528	20/01/2012 22:07	21/01/2012 00:08	02:00:20	10000	Estático	ROVER
CASP0121f_VEO0	GR-3	1.357	1.528	21/01/2012 00:09	21/01/2012 01:08	00:59:30	10000	Estático	ROVER
LI01	TRM55971.00	0.089		19/01/2012 19:00	20/01/2012 19:00	24:00:00	5000	Estático	BASE
LI01	TRM55971.00	0.089		20/01/2012 19:00	21/01/2012 19:00	24:00:00	5000	Estático	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. 10. Descripción de la observación GPS en el punto 7.

Nombre del archivo de datos	Tipo de antena	Altura Vertical de la antena (m)	Altura Inclínada de la antena (m)	Hora de Inicio	Hora de término	Duración	Intervalo de grabación (ms)	Método de observación	Código
SR0118v_VEO0	GR-3	1.329	1.5	18/01/2012 16:38	18/01/2012 22:11	05:32:20	10000	Estático	ROVER
SR0118n_VEO0	GR-3	1.329	1.5	18/01/2012 08:35	18/01/2012 16:37	08:02:00	10000	Estático	ROVER
TARM0119s_VEO0	GR-3	1.329	1.5	19/01/2012 13:57	19/01/2012 17:04	03:06:30	10000	Estático	ROVER
TARM0119l_VEO0	GR-3	1.329	1.5	19/01/2012 06:34	19/01/2012 13:35	07:00:40	10000	Estático	ROVER
TARM0119w_VEO0	GR-3	1.329	1.5	19/01/2012 17:06	19/01/2012 18:40	01:34:20	10000	Estático	ROVER
LI01	TRM55971.00	0.089		17/01/2012 19:00	19/01/2012 19:00	48:00:00	5000	Estático	BASE

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. 11. Descripción de la observación GPS en el punto 8.

Nombre del archivo de datos	Tipo de antena	Altura Vertical de la antena (m)	Altura Inclinada de la antena (m)	Hora de Inicio	Hora de término	Duración	Intervalo de grabación (ms)	Método de observación	Código
SRO116m_VEOO	GR-3	1.385	1.556	16/01/2012 07:04	16/01/2012 09:04	02:00:50	10000	Estático	ROVER
SRO116o_VEOO	GR-3	1.385	1.556	16/01/2012 09:06	16/01/2012 13:08	04:01:50	10000	Estático	ROVER
SRO116s_VEOO	GR-3	1.385	1.556	16/01/2012 13:12	16/01/2012 20:15	07:02:50	10000	Estático	ROVER
SRO117i_VEOO	GR-3	1.385	1.556	17/01/2012 03:58	17/01/2012 14:01	10:03:50	10000	Estático	ROVER
LI01	TRM55971.00	0.089		15/01/2012 19:00	17/01/2012 19:00	48:00:00	5000	Estático	BASE

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. 12. Descripción de la observación GPS en el punto 9.

Nombre del archivo de datos	Tipo de antena	Altura Vertical de la antena (m)	Altura Inclinada de la antena (m)	Hora de Inicio	Hora de término	Duración	Intervalo de grabación (ms)	Método de observación	Código
Tingo0112c001_VEOO	GR-3	1.26	1.431	11/01/2012 21:36	12/01/2012 02:40	05:03:30	10000	Estático	ROVER
Tingo0112k_VEOO	GR-3	1.26	1.431	12/01/2012 05:36	12/01/2012 16:39	11:03:20	10000	Estático	ROVER
Tingo0113g_VEOO	GR-3	1.26	1.431	13/01/2012 01:00	13/01/2012 16:12	15:11:40	10000	Estático	ROVER
Tingo0114u_VEOO	GR-3	1.26	1.431	13/01/2012 22:52	14/01/2012 17:42	18:50:20	10000	Estático	ROVER
LI01	TRM55971.00	0.089		11/01/2012 19:00	12/01/2012 19:00	24:00:00	5000	Estático	BASE
LI01	TRM55971.00	0.089		12/01/2012 19:00	13/01/2012 19:00	24:00:00	5000	Estático	
LI01	TRM55971.00	0.089		13/01/2012 19:00	14/01/2012 19:00	24:00:00	5000	Estático	

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3. 13. Descripción de la observación GPS en el punto 10.

Nombre del archivo de datos	Tipo de antena	Altura Vertical de la antena (m)	Altura Inclinada de la antena (m)	Hora de Inicio	Hora de término	Duración	Intervalo de grabación (ms)	Método de observación	Código
Pucc0109c_VEOO	GR-3	1.265	1.436	08/01/2012 21:04	09/01/2012 12:09	15:05:10	10000	Estático	ROVER
Pucc0110w_VEOO	GR-3	1.265	1.436	09/01/2012 21:45	10/01/2012 18:46	21:00:50	10000	Estático	ROVER
LI01	TRM55971.00	0.089		08/01/2012 19:00	09/01/2012 19:00	24:00:00	5000	Estático	BASE
LI01	TRM55971.00	0.089		09/01/2012 19:00	10/01/2012 19:00	24:00:00	5000	Estático	

Fuente: Elaboración propia.

3.5.3. Post-proceso con el software Topcon Tools

Terminada la sesión de observación, las mediciones simultáneas de la estación BASE y ROVER se registran, por lo general, en la memoria interna del receptor. Después los datos se descargan a la computadora mediante el software PC-CDU utilizada en la presente investigación.

Con el software Topcon Tools se realizó el post-proceso de los datos para el cálculo de las coordenadas respectivas. Los parámetros a introducir en el Topcon Tools son:

- archivo de datos de la estación BASE (IGN)
- archivo de datos de la estación ROVER
- coordenadas absolutas del punto BASE (IGN)
- tipo de antena
- altura de antena (vertical o inclinada)

3.5.4. Reportes post-proceso del software Topcon Tools

El reporte contiene: la duración de la observación, la distancia de la línea base, la desviación estándar, error probable al 50%, 90%, 95% y 99.73%, error relativo o precisión relativa en el nivel de confianza del 95%, el orden de la precisión y las coordenadas UTM de los puntos GPS.

Para clasificar el orden de precisión de la observación satelital, se recurrió a la Tabla 3. 14 que considera un nivel de confianza del 95%.

Tabla 3. 14. Clasificación de los levantamientos geodésicos

ORDEN	CLASE	PRECISIÓN RELATIVA
0	Única	1:100 000 000
A	Única	1:10 000 000
B	Única	1:1 000 000
C	Única	1:100 000

Fuente: Instituto Geográfico Nacional del Perú.

Tabla 3. 15. Reporte post-proceso del punto 1 (receptor Hiper+)

Nombre del archivo de datos	Duración	Distancia (m)	$\sigma = \pm$ Desv Std Hz (m)	$\sigma = \pm$ Desv Std Hz (cm)	$E_{50\%} = \pm 0.6745\sigma$ (m)	$E_{90\%} = \pm 1.6449\sigma$ (m)	$E_{95\%} = \pm 1.9599\sigma$ (m)	$E_{99.73\%} = \pm 3\sigma$ (m)	$E_{RELATIVO 95\%}$	Orden	Norte UTM (m)	Este UTM (m)	Código
David1204b_ZDA8-LI01	00:02:00	1667.973	0.003	0.3	0.002	0.005	0.006	0.009	1/ 283683	C	8660769.716	278880.467	ROVER
David1204c_ZDA8-LI01	00:04:10	1667.974	0.002	0.2	0.001	0.003	0.004	0.006	1/ 425525	C	8660769.715	278880.466	ROVER
David1204d_ZDA8-LI01	00:08:10	1667.977	0.004	0.4	0.003	0.007	0.008	0.012	1/ 212763	C	8660769.715	278880.463	ROVER
David1204e_ZDA8-LI01	00:14:50	1667.977	0.002	0.2	0.001	0.003	0.004	0.006	1/ 425526	C	8660769.713	278880.464	ROVER
David1204f_ZDA8-LI01	00:31:20	1667.973	0.002	0.2	0.001	0.003	0.004	0.006	1/ 425525	C	8660769.714	278880.468	ROVER
David1204g_ZDA8-LI01	01:00:20	1667.975	0.002	0.2	0.001	0.003	0.004	0.006	1/ 425526	C	8660769.714	278880.465	ROVER
David1204h_ZDA8-LI01	02:00:00	1667.975	0.002	0.2	0.001	0.003	0.004	0.006	1/ 425526	C	8660769.714	278880.466	ROVER
David1204i_ZDA8-LI01	03:00:00	1667.975	0.002	0.2	0.001	0.003	0.004	0.006	1/ 425526	C	8660769.714	278880.466	ROVER
LI01	24:00:00	0	0	0.000	0	0	0	0		0	8661244.450	280479.727	BASE

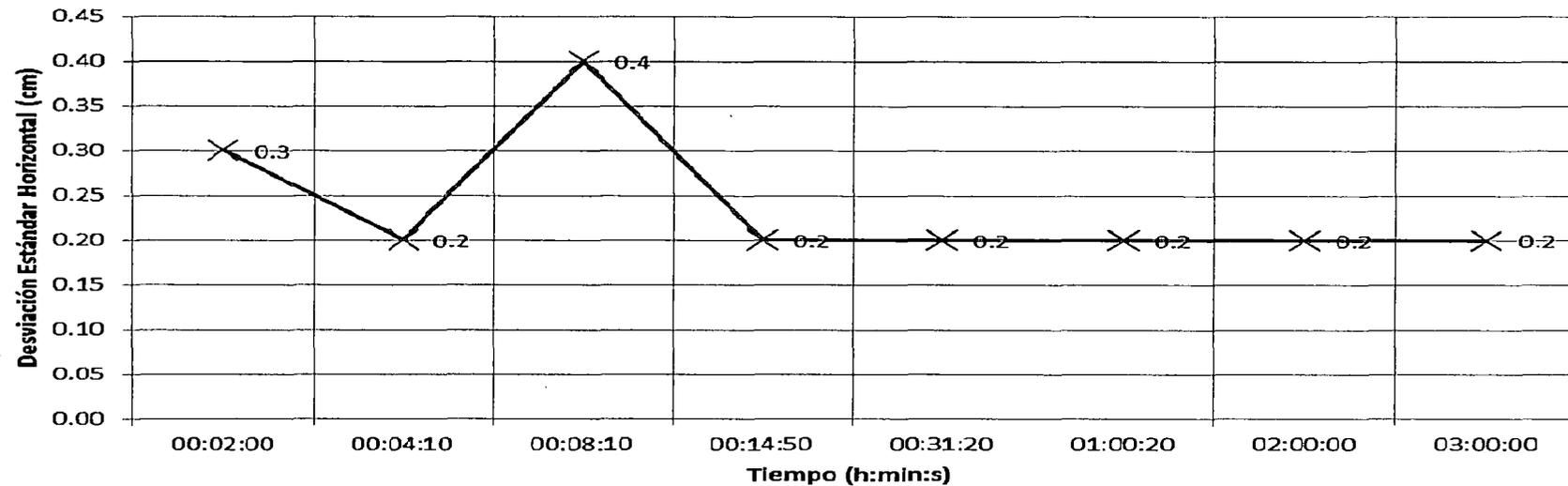


Figura 3. 19. Desviación estándar horizontal del punto 1-Tiempo de observación de todas las sesiones

Tabla 3. 16. Reporte post-proceso del punto 2 (receptor Hiper+)

Nombre del archivo de datos	Duración	Distancia (m)	$\sigma = \pm$ Desv Std Hz (m)	$\sigma = \pm$ Desv Std Hz (cm)	$E_{50\%} = \pm 0.6745\sigma$ (m)	$E_{90\%} = \pm 1.6449\sigma$ (m)	$E_{95\%} = \pm 1.9599\sigma$ (m)	$E_{99.73\%} = \pm 3\sigma$ (m)	$E_{RELATIVO\ 95\%}$	Orden	Norte UTM (m)	Este UTM (m)	Código
David1202a_ZDA8-LI01	00:02:20	4299.357	0.031	3.1	0.020	0.051	0.061	0.093	1/ 70763	--	8665305.863	279067.080	ROVER
David1202b_ZDA8-LI01	00:04:00	4299.359	0.017	1.7	0.011	0.028	0.033	0.051	1/ 129039	C	8665305.872	279067.097	ROVER
David1202c_ZDA8-LI01	00:08:10	4299.358	0.007	0.7	0.005	0.012	0.014	0.021	1/ 313380	C	8665305.870	279067.093	ROVER
David1202d_ZDA8-LI01	00:15:30	4299.363	0.003	0.3	0.002	0.005	0.006	0.009	1/ 731221	C	8665305.873	279067.088	ROVER
David1202e_ZDA8-LI01	00:30:10	4299.36	0.003	0.3	0.002	0.005	0.006	0.009	1/ 731221	C	8665305.868	279067.083	ROVER
David1202f_ZDA8-LI01	01:00:30	4299.365	0.003	0.3	0.002	0.005	0.006	0.009	1/ 731222	C	8665305.875	279067.087	ROVER
David1202g_ZDA8-LI01	02:00:00	4299.352	0.002	0.2	0.001	0.003	0.004	0.006	1/ 1096829	B	8665305.861	279067.086	ROVER
David1202h_ZDA8-LI01	02:44:00	4299.341	0.002	0.2	0.001	0.003	0.004	0.006	1/ 1096827	B	8665305.850	279067.089	ROVER
LI01	24:00:00	0	0	0	0	0	0	0		0	8661244.450	280479.727	BASE

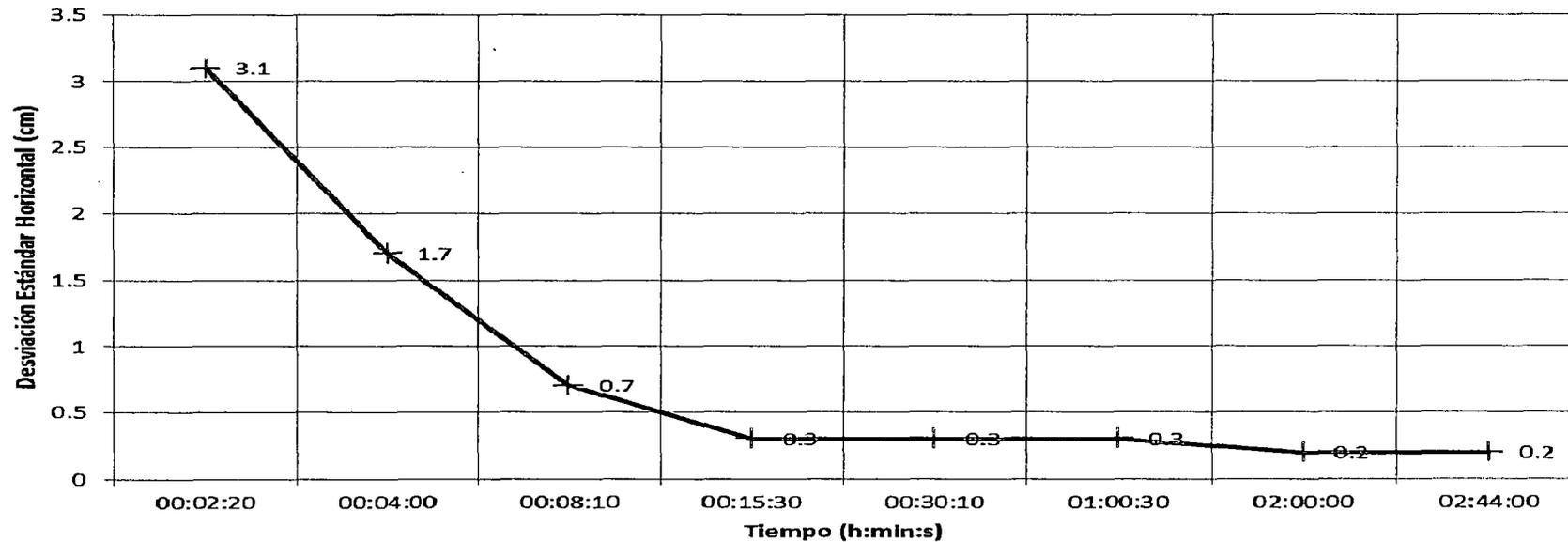


Figura 3. 20. Desviación estándar horizontal del punto 2-Tiempo de observación de todas las sesiones

Tabla 3. 17. Reporte post-proceso del punto 3 (receptor Hiper+)

Nombre del archivo de datos	Duración	Distancia (m)	$\sigma = \pm$ Desv Std Hz (m)	$\sigma = \pm$ Desv Std Hz (cm)	$E_{50\%} = \pm 0.6745\sigma$ (m)	$E_{90\%} = \pm 1.6449\sigma$ (m)	$E_{95\%} = \pm 1.9599\sigma$ (m)	$E_{99.73\%} = \pm 3\sigma$ (m)	$E_{RELATIVO 95\%}$	Orden	Norte UTM (m)	Este UTM (m)	Código
hiper+1201a_ZDA8	00:10:00	9728.987	0.014	1.4	0.009	0.023	0.027	0.042	1/ 354573	C	8670342.201	277027.453	ROVER
hiper+1201b_ZDA8	00:20:15	9728.967	0.008	0.8	0.005	0.013	0.016	0.024	1/ 620501	C	8670342.184	277027.466	ROVER
hiper+1201c_ZDA8	00:29:55	9728.961	0.015	1.5	0.010	0.025	0.029	0.045	1/ 330934	C	8670342.175	277027.462	ROVER
hiper+1201d_ZDA8	01:01:05	9728.976	0.005	0.5	0.003	0.008	0.010	0.015	1/ 992803	C	8670342.186	277027.447	ROVER
hiper+1201e_ZDA8	02:00:45	9728.962	0.008	0.8	0.005	0.013	0.016	0.024	1/ 620501	C	8670342.175	277027.456	ROVER
hiper+1201f_ZDA8	04:03:10	9728.960	0.005	0.5	0.003	0.008	0.010	0.015	1/ 992802	C	8670342.181	277027.478	ROVER
LI01	24:00:00	0	0	0	0	0	0	0		0	8661244.450	280479.727	BASE

Tabla 3. 18. Reporte post-proceso del punto 3 (receptor GR-3)

Nombre del archivo de datos	Duración	Distancia (m)	$\sigma = \pm$ Desv Std Hz (m)	$\sigma = \pm$ Desv Std Hz (cm)	$E_{50\%} = \pm 0.6745\sigma$ (m)	$E_{90\%} = \pm 1.6449\sigma$ (m)	$E_{95\%} = \pm 1.9599\sigma$ (m)	$E_{99.73\%} = \pm 3\sigma$ (m)	$E_{RELATIVO 95\%}$	Orden	Norte UTM (m)	Este UTM (m)	Código
UNI0125v_VE00	00:02:30	9729.159	0.113	11.3	0.073	0.186	0.221	0.339	1/ 43930	--	8670342.420	277027.548	ROVER
UNI0125v000_VE00	00:04:10	9728.968	0.041	4.1	0.027	0.067	0.080	0.123	1/ 121073	C	8670342.192	277027.485	ROVER
UNI0125v001_VE00	00:08:30	9728.962	0.019	1.9	0.012	0.031	0.037	0.057	1/ 261264	C	8670342.185	277027.484	ROVER
UNI0125o_VE00	00:11:00	9728.977	0.012	1.2	0.008	0.020	0.024	0.036	1/ 413668	C	8670342.195	277027.465	ROVER
UNI0125o000_VE00	00:21:00	9728.986	0.014	1.4	0.009	0.023	0.027	0.042	1/ 354573	C	8670342.207	277027.472	ROVER
UNI0125o001_VE00	00:31:00	9728.971	0.015	1.5	0.010	0.025	0.029	0.045	1/ 330934	C	8670342.188	277027.467	ROVER
UNI0125p_VE00	01:01:20	9728.959	0.01	1.0	0.006	0.016	0.020	0.030	1/ 496401	C	8670342.177	277027.472	ROVER
UNI0125q_VE00	02:02:30	9728.973	0.006	0.6	0.004	0.010	0.012	0.018	1/ 827336	C	8670342.195	277027.479	ROVER
UNI0125s_VE00	03:10:30	9728.968	0.006	0.6	0.004	0.010	0.012	0.018	1/ 827335	C	8670342.194	277027.490	ROVER
LI01	24:00:00	0	0	0	0	0	0	0		0	8661244.450	280479.727	BASE

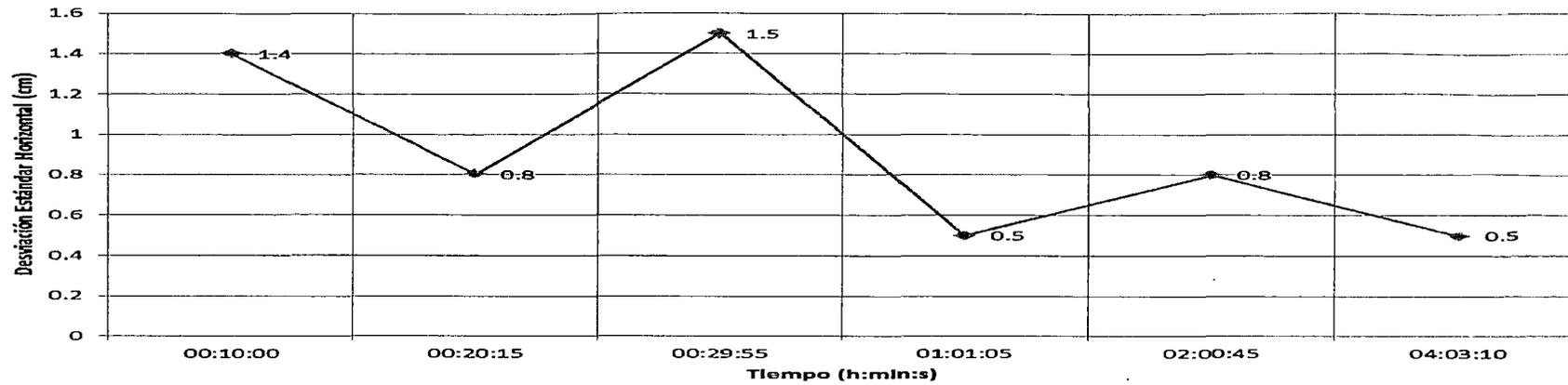


Figura 3. 21. Desviación estándar horizontal del punto 3-Tiempo de observación de todas las sesiones (receptor Hiper+)

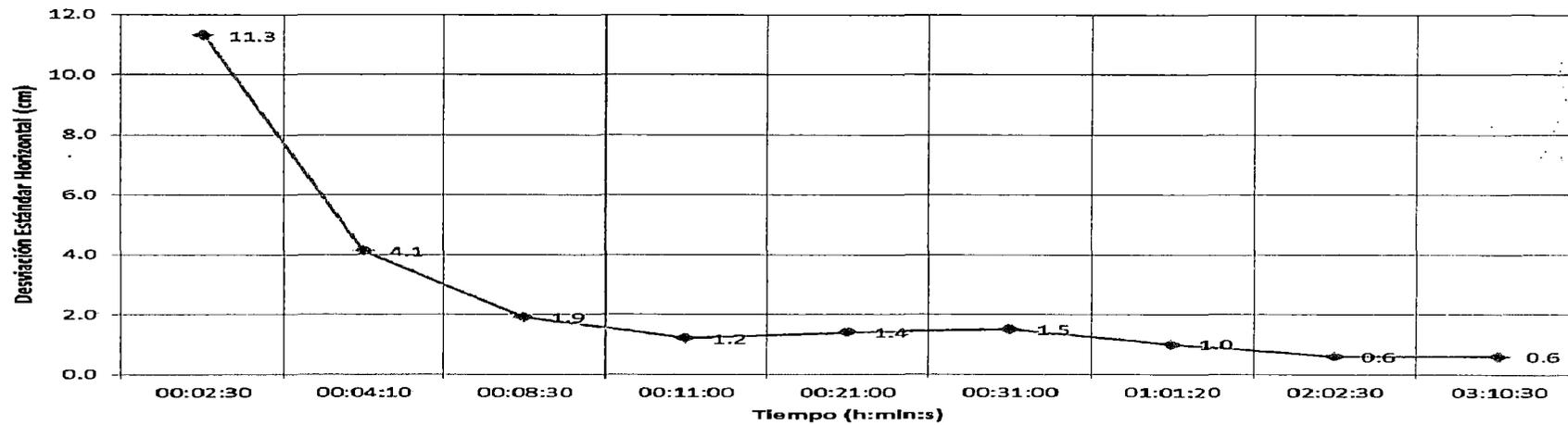


Figura 3. 22. Desviación estándar horizontal del punto 3-Tiempo de observación de todas las sesiones (receptor GR-3)

Tabla 3. 19. Reporte post-proceso del punto 4 (receptor Hiper+)

Nombre del archivo de datos	Duración	Distancia (m)	$\sigma = \pm$ Desv Std Hz (m)	$\sigma = \pm$ Desv Std Hz (cm)	$E_{50\%} = \pm 0.6745\sigma$ (m)	$E_{90\%} = \pm 1.6449\sigma$ (m)	$E_{95\%} = \pm 1.9599\sigma$ (m)	$E_{99.73\%} = \pm 3\sigma$ (m)	$E_{RELATIVO\ 95\%}$	Orden	Norte UTM (m)	Este UTM (m)	Código
David1203b_ZDA8-LI01	00:20:30	20314.811	0.012	1.2	0.008	0.020	0.024	0.036	1/ 863769	C	8671274.195	298144.675	ROVER
David1203c_ZDA8-LI01	00:40:20	20314.803	0.010	1	0.006	0.016	0.020	0.030	1/ 1036522	B	8671274.202	298144.661	ROVER
David1203d_ZDA8-LI01	01:01:40	20314.769	0.028	2.8	0.018	0.046	0.055	0.084	1/ 370186	C	8671274.205	298144.621	ROVER
David1203e_ZDA8-LI01	02:01:20	20314.963	0.010	1	0.006	0.016	0.020	0.030	1/ 1036531	B	8671274.191	298144.850	ROVER
David1203f_ZDA8-LI01	03:06:10	20314.845	0.011	1.1	0.007	0.018	0.022	0.033	1/ 942295	C	8671274.227	298144.699	ROVER
LI01	48:00:00		0	0	0	0	0	0		0	8661244.450	280479.727	BASE

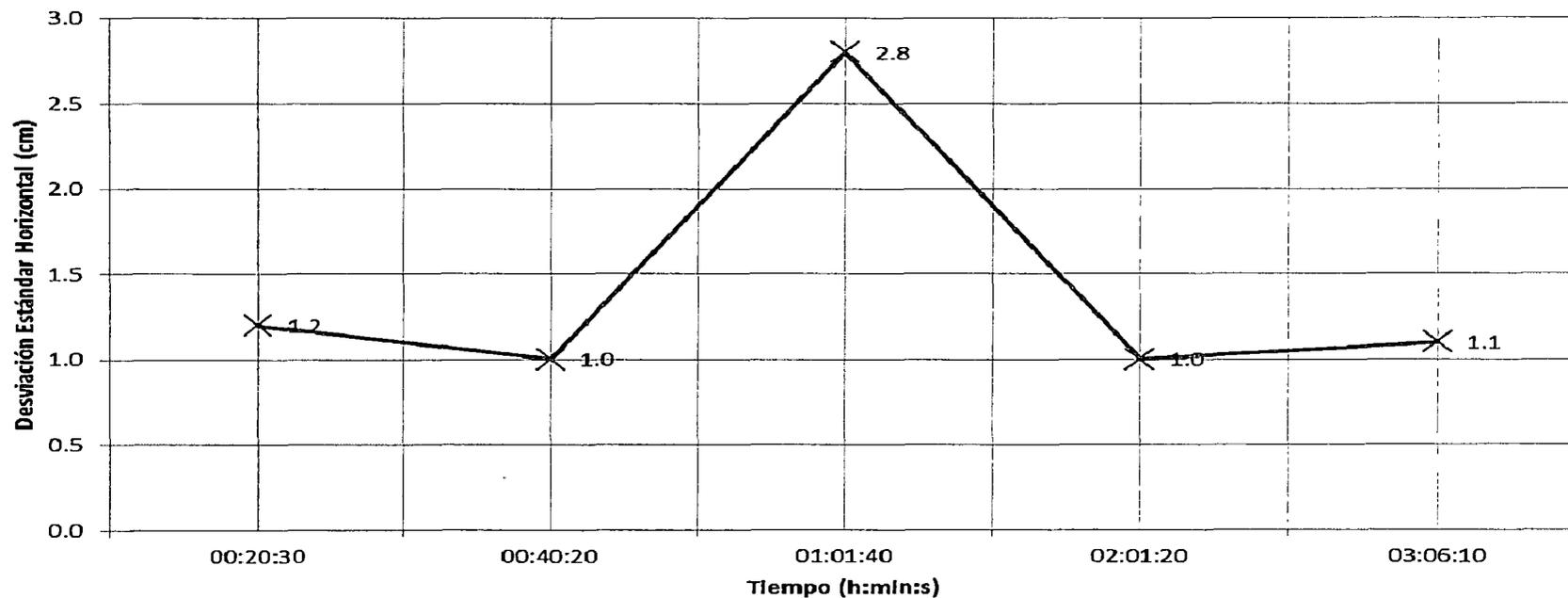


Figura 3. 23. Desviación estándar horizontal del punto 4-Tiempo de observación de todas las sesiones

Tabla 3. 20. Reporte post-proceso del punto 5 (receptor GR-3)

Nombre del archivo de datos	Duración	Distancia (m)	$\sigma = \pm$ Desv Std Hz (m)	$\sigma = \pm$ Desv Std Hz (cm)	$E_{50\%} = \pm 0.6745\sigma$ (m)	$E_{90\%} = \pm 1.6449\sigma$ (m)	$E_{95\%} = \pm 1.9599\sigma$ (m)	$E_{99.73\%} = \pm 3\sigma$ (m)	$E_{RELATIVO 95\%}$	Orden	Norte UTM (m)	Este UTM (m)	Código
CORC0121o_VEOO	00:25:30	52147.756	0.086	8.6	0.056	0.141	0.169	0.258	1/ 309388	C	8682901.066	327902.885	ROVER
CORC0121x_VEOO	00:30:30	52148.120	0.007	0.7	0.005	0.012	0.014	0.021	1/ 3801077	B	8682901.131	327903.252	ROVER
CORC0121p_VEOO	01:00:40	52147.650	0.015	1.5	0.010	0.025	0.029	0.045	1/ 1773820	B	8682901.088	327902.760	ROVER
CORC0121q_VEOO	02:01:00	52147.663	0.015	1.5	0.010	0.025	0.029	0.045	1/ 1773821	B	8682901.100	327902.768	ROVER
CORC0122e_VEOO	03:01:00	52147.673	0.016	1.6	0.010	0.026	0.031	0.048	1/ 1662957	B	8682901.097	327902.782	ROVER
CORC0122a_VEOO	04:01:00	52147.671	0.016	1.6	0.010	0.026	0.031	0.048	1/ 1662957	B	8682901.100	327902.778	ROVER
CORC0121s_VEOO	05:00:10	52147.670	0.014	1.4	0.009	0.023	0.027	0.042	1/ 1900522	B	8682901.094	327902.777	ROVER
LI01	24:00:00	0	0	0	0	0	0	0		0	8661244.450	280479.727	BASE
LI01	24:00:00	0	0	0	0	0	0	0		0	8661244.450	280479.727	BASE

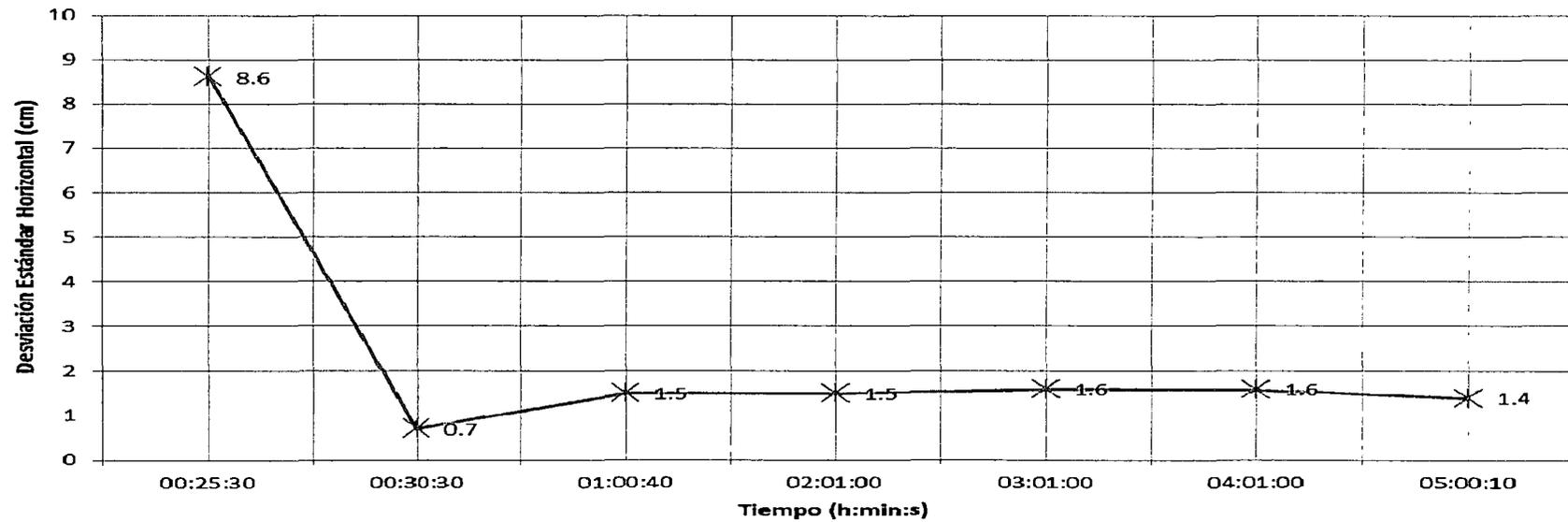


Figura 3. 24. Desviación estándar horizontal del punto 5-Tiempo de observación de todas las sesiones

Tabla 3. 21. Reporte post-proceso del punto 6 (receptor GR-3)

Nombre del archivo de datos	Duración	Distancia (m)	$\sigma = \pm$ Desv Std Hz (m)	$\sigma = \pm$ Desv Std Hz (cm)	$E_{50\%} = \pm 0.6745\sigma$ (m)	$E_{90\%} = \pm 1.6449\sigma$ (m)	$E_{95\%} = \pm 1.9599\sigma$ (m)	$E_{99.73\%} = \pm 3\sigma$ (m)	$E_{RELATIVO 95\%}$	Orden	Norte UTM (m)	Este UTM (m)	Código
CASP0121f_VEOO	00:59:30	93493.517	0.034	3.4	0.022	0.056	0.067	0.102	1/ 1403036	B	8706827.181	361995.382	ROVER
CASP0121d_VEOO	02:00:20	93493.489	0.023	2.3	0.015	0.038	0.045	0.069	1/ 2074052	B	8706827.092	361995.398	ROVER
CASP0121a_VEOO	03:00:10	93493.486	0.024	2.4	0.016	0.039	0.047	0.072	1/ 1987633	B	8706827.090	361995.397	ROVER
CASP0120t_VEOO	04:04:20	93493.354	0.023	2.3	0.015	0.038	0.045	0.069	1/ 2074049	B	8706827.066	361995.261	ROVER
CASP0120o_VEOO	05:01:50	93493.488	0.021	2.1	0.014	0.035	0.041	0.063	1/ 2271581	B	8706827.099	361995.394	ROVER
LI01	24:00:00	0	0	0	0	0	0	0		0	8661244.450	280479.727	BASE
LI01	24:00:00	0	0	0	0	0	0	0		0	8661244.450	280479.727	

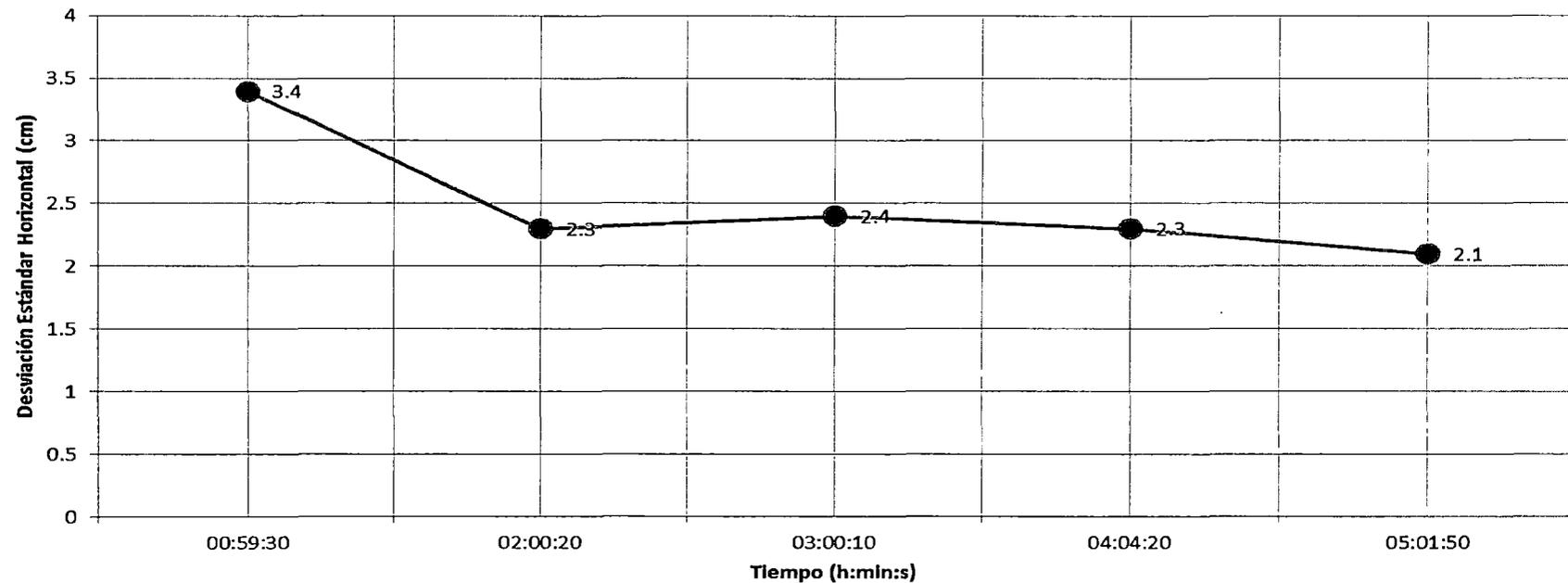


Figura 3. 25. Desviación estándar horizontal del punto 6-Tiempo de observación de todas las sesiones

Tabla 3. 22. Reporte post-proceso del punto 7 (receptor GR-3)

Nombre del archivo de datos	Duración	Distancia (m)	$\sigma = \pm$ Desv Std Hz (m)	$\sigma = \pm$ Desv Std Hz (cm)	$E_{50\%} = \pm 0.6745\sigma$ (m)	$E_{90\%} = \pm 1.6449\sigma$ (m)	$E_{95\%} = \pm 1.9599\sigma$ (m)	$E_{99.73\%} = \pm 3\sigma$ (m)	$E_{RELATIVO 95\%}$	Orden	Norte UTM (m)	Este UTM (m)	Código
TARM0119w_VEO0	01:34:20	164397.679	0.056	5.6	0.036	0.092	0.110	0.168	1/ 1497869	B	8738309.843	425603.037	ROVER
TARM0119s_VEO0	03:06:30	164397.688	0.028	2.8	0.018	0.046	0.055	0.084	1/ 2995738	B	8738309.821	425603.062	ROVER
SR0118v_VEO0	05:32:20	164397.695	0.043	4.3	0.028	0.071	0.084	0.129	1/ 1950713	B	8738309.815	425603.071	ROVER
TARM0119l_VEO0	07:00:40	164397.648	0.040	4.0	0.026	0.066	0.078	0.120	1/ 2097016	B	8738309.807	425603.024	ROVER
SR0118n_VEO0	08:02:00	164397.673	0.040	4.0	0.026	0.066	0.078	0.120	1/ 2097016	B	8738309.812	425603.049	ROVER
U01	48:00:00	0	0	0	0	0	0	0		0	8661244.450	280479.727	BASE

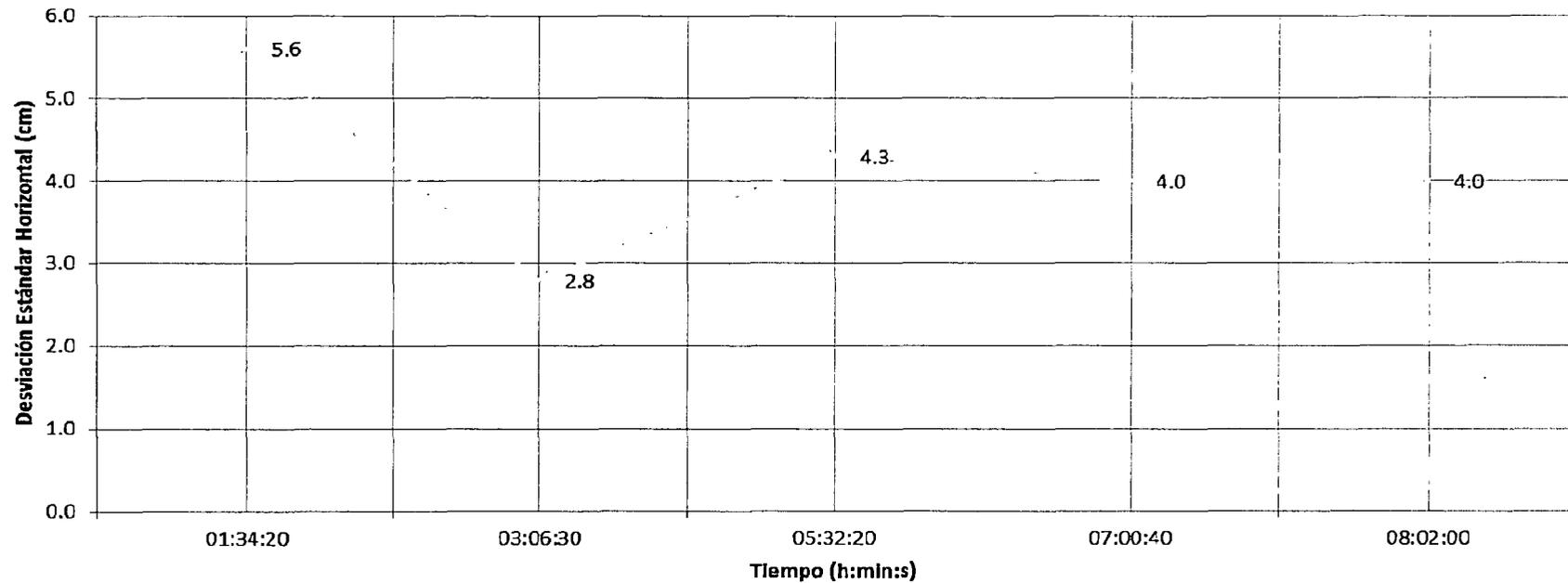


Figura 3. 26. Desviación estándar horizontal del punto 7-Tiempo de observación de todas las sesiones

Tabla 3. 23. Reporte post-proceso del punto 8 (receptor GR-3)

Nombre del archivo de datos	Duración	Distancia (m)	$\sigma = \pm$ Desv Std Hz (m)	$\sigma = \pm$ Desv Std Hz (cm)	$E_{50\%} = \pm 0.6745\sigma$ (m)	$E_{90\%} = \pm 1.6449\sigma$ (m)	$E_{95\%} = \pm 1.9599\sigma$ (m)	$E_{99.73\%} = \pm 3\sigma$ (m)	$E_{RELATIVO\ 95\%}$	Orden	Norte UTM (m)	Este UTM (m)	Código
SR0116m_VEOO	02:00:50	210883.982	0.077	7.7	0.050	0.127	0.151	0.231	1 / 1397394	B	8769766.728	461248.375	ROVER
SR0116o_VEOO	04:01:50	210884.018	0.047	4.7	0.030	0.077	0.092	0.141	1 / 2289348	B	8769766.742	461248.408	ROVER
SR0116s_VEOO	07:02:50	210884.005	0.052	5.2	0.034	0.086	0.102	0.156	1 / 2069219	B	8769766.745	461248.392	ROVER
SR0117i_VEOO	10:03:50	210884.037	0.055	5.5	0.036	0.090	0.108	0.165	1 / 1956352	B	8769766.739	461248.433	ROVER
LI01	48:00:00	0	0	0	0	0	0	0		0	8661244.450	280479.727	BASE

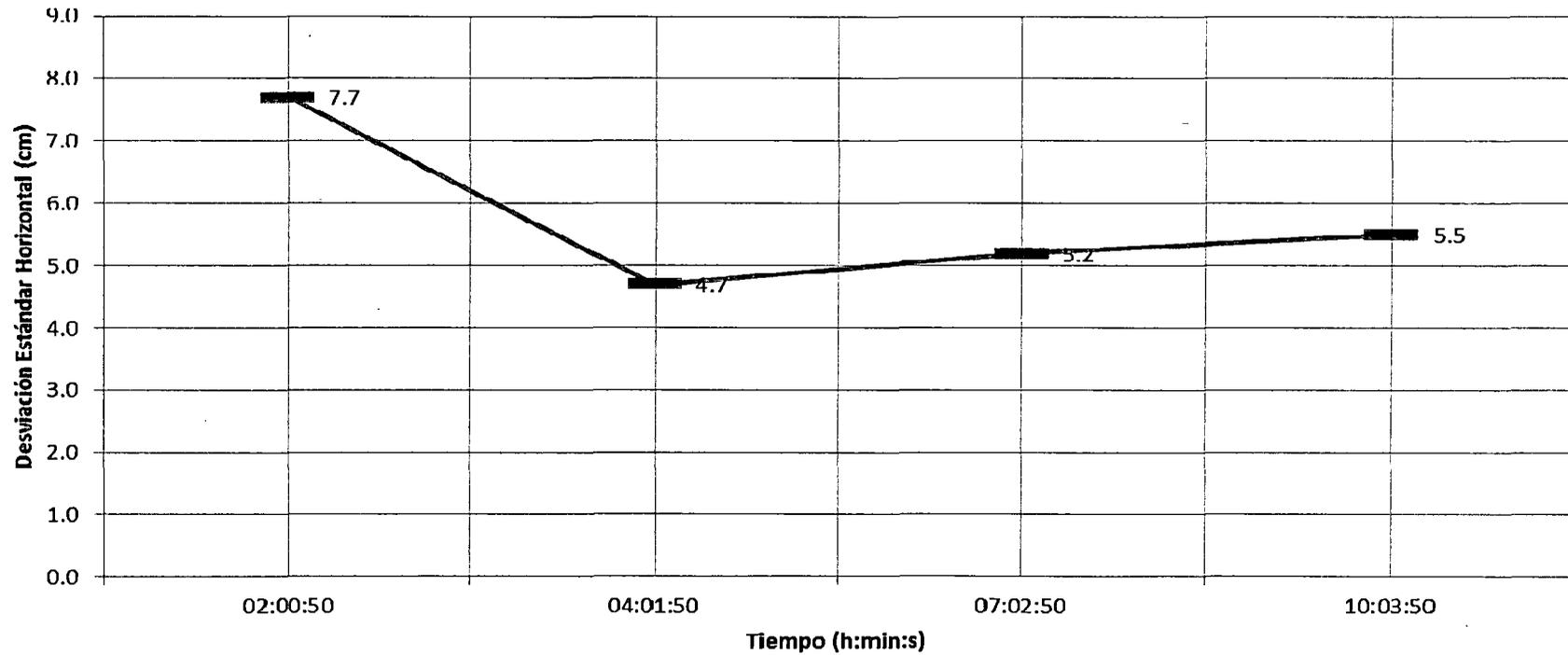


Figura 3. 27. Desviación estándar horizontal del punto 8-Tiempo de observación de todas las sesiones

Tabla 3. 24. Reporte post-proceso del punto 9 (receptor GR-3)

Nombre del archivo de datos	Duración	Distancia (m)	$\sigma = \pm$ Desv Std Hz (m)	$\sigma = \pm$ Desv Std Hz (cm)	$E_{50\%} = \pm 0.6745\sigma$ (m)	$E_{90\%} = \pm 1.6449\sigma$ (m)	$E_{95\%} = \pm 1.9599\sigma$ (m)	$E_{99.73\%} = \pm 3\sigma$ (m)	$E_{RELATIVO\ 95\%}$	Orden	Norte UTM (m)	Este UTM (m)	Código
Tingo0112c001_VEO0	05:03:30	329786.483	0.108	10.8	0.070	0.178	0.212	0.324	1/ 1558028	B	8972272.063	390113.929	ROVER
Tingo0112k_VEO0	11:03:20	329786.532	0.096	9.6	0.062	0.158	0.188	0.288	1/ 1752781	B	8972272.096	390113.994	ROVER
Tingo0113g_VEO0	15:11:40	329786.503	0.074	7.4	0.048	0.122	0.145	0.222	1/ 2273878	B	8972272.090	390113.913	ROVER
Tingo0114u_VEO0	18:50:20	329786.56	0.073	7.3	0.047	0.120	0.143	0.219	1/ 2305028	B	8972272.100	390114.051	ROVER
LI01	24:00:00	0	0	0	0	0	0	0		0	8661244.450	280479.727	BASE
LI01	24:00:00	0	0	0	0	0	0	0		0	8661244.450	280479.727	
LI01	24:00:00	0	0	0	0	0	0	0		0	8661244.450	280479.727	

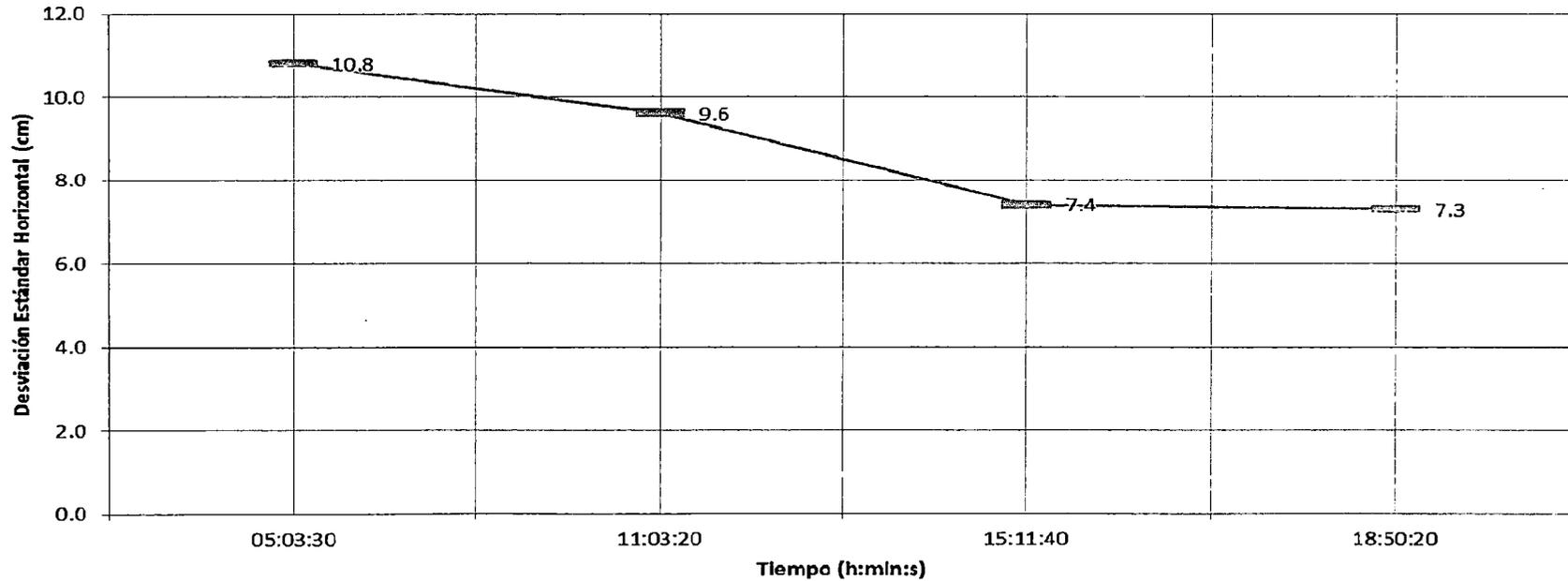


Figura 3. 28. Desviación estándar horizontal del punto 9-Tiempo de observación de todas las sesiones

Tabla 3. 25. Reporte post-proceso del punto 10 (receptor GR-3)

Nombre del archivo de datos	Duración	Distancia (m)	$\sigma = \pm$ Desv Std Hz (m)	$\sigma = \pm$ Desv Std Hz (cm)	$E_{50\%} = \pm 0.6745\sigma$ (m)	$E_{90\%} = \pm 1.6449\sigma$ (m)	$E_{95\%} = \pm 1.9599\sigma$ (m)	$E_{99.73\%} = \pm 3\sigma$ (m)	$E_{RELATIVO\ 95\%}$	Orden	Norte UTM (m)	Este UTM (m)	Código
Pucc0109c_VEO0	15:05:10	492116.644	0.107	10.7	0.069	0.176	0.210	0.321	1/ 2346661	B	9072199.425	551199.025	ROVER
Pucc0110w_VEO0	21:00:50	492116.661	0.094	9.4	0.061	0.155	0.184	0.282	1/ 2671199	B	9072199.414	551199.072	ROVER
LI01	24:00:00	0	0	0	0	0	0	0		0	8661244.450	280479.727	BASE
LI01	24:00:00	0	0	0	0	0	0	0		0	8661244.450	280479.727	

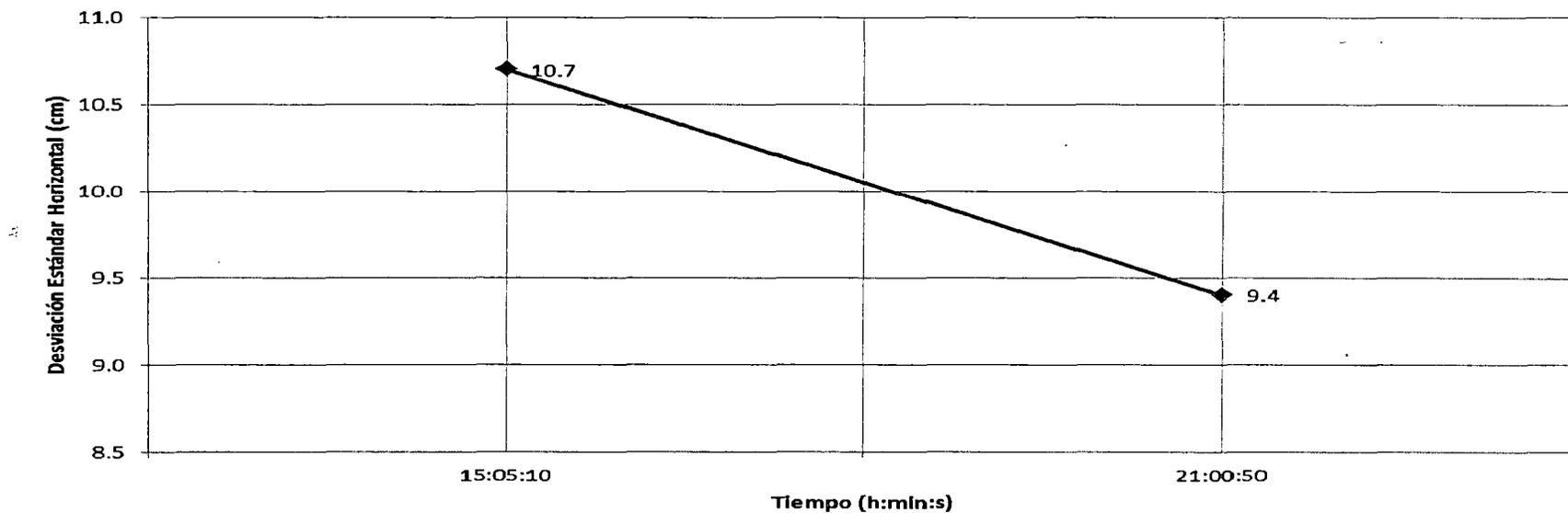


Figura 3. 29. Desviación estándar horizontal del punto 10-Tiempo de observación de todas las sesiones

3.5.5. Servicios de posicionamiento vía web

Los servicios de posicionamiento vía web, evitan preocuparse de la tarea de post-procesamiento en el Topcon Tools u otro software comercial, requieren la siguiente información:

- archivo de datos observados por el receptor, por lo general en Formato de Intercambio Independiente del Receptor (RINEX)*
- correo electrónico del usuario, para recibir el reporte,
- tipo de antena, calibrada por la NGS,
- altura ARP

Es importante subrayar que el archivo de datos del receptor GPS (marca Topcon, modelos GR-3 y Hiper+), tienen el formato de archivo en crudo TPS y es necesario la conversión mediante el software Topcon Tools a formato RINEX, mientras que los datos del IGN está en RINEX.

❖ OPUS

El Servicio de Posicionamiento del Usuario en Línea (OPUS) del Servicio Geodésico Nacional de EE.UU. (NGS) es un servicio vía web que proporciona a los usuarios de GPS un método sencillo para presentar y procesar sus datos en forma precisa y fiable. Los productos finales son dos conjuntos de coordenadas geodésicas con una precisión de alrededor de 1,0 cm y son coherentes con el último sistema de coordenadas ITRF y el Sistema Nacional de Referencia Espacial (NSRS) de los Estados Unidos.

Para utilizar el OPUS, un usuario debe proporcionar el archivo de datos crudos o en RINEX, seleccione un tipo de antena, introduzca la altura de la antena ARP y proporcionar una dirección de correo electrónico porque se enviará el reporte al correo electrónico. Una vez que los datos han sido cargados y comprobados, una página web informa que los datos se han presentado con éxito y que debe esperar los resultados en el correo electrónico.

* RINEX es un formato universal y se trata de una serie de definiciones estándar para realizar intercambios libres de datos de observación GPS/GNSS, facilitando su utilización por cualquier software de post-procesamiento. Este formato incluye definiciones para tres observables fundamentales: tiempo, fase y distancia.

OPUS utiliza datos de fase de las portadoras L1 y L2 desde el rover y las tres mejores estaciones CORS en las inmediaciones del rover para su procesamiento. Las estaciones CORS son por lo general de la red nacional CORS de los Estados Unidos o desde la red IGS, si el receptor rover se recogió en un país extranjero o de la región.

OPUS alivia los usuarios de la carga de procesar sus propios datos mediante una interfaz simple y rápido tiempo de respuesta.

La dirección web del OPUS:

<http://www.ngs.noaa.gov/OPUS/>

❖ AUSPOS

El Servicio de Procesamiento GPS en Línea (AUSPOS) es también una herramienta de posicionamiento vía web que proporciona a los usuarios la posibilidad de enviar los datos del GPS a un sistema de procesamiento. Este servicio es gratuito, acepta el modo estático de doble frecuencia. Hace uso del Datum Geocéntrico de Australia (GDA) y en ITRF. AUSPOS también utiliza productos del IGS en la fase de proceso para producir un conjunto preciso y consistente de las coordenadas de los datos recogidos en cualquier parte del mundo.

Para utilizar la herramienta, el usuario presenta el tipo de antena y la altura ARP, una dirección de correo electrónico y datos RINEX (de hasta 24 horas de duración), los datos RINEX se pueden enviar a un servidor FTP anónimo o cargar directamente al sitio web para su procesamiento. Los resultados se proporcionan por correo electrónico o mediante un enlace servidor FTP anónimo que almacena los resultados.

Un conjunto de las estaciones de referencia IGS más cercanos, se utilizan en un enfoque de doble diferencia para estimar el mejor conjunto de coordenadas para el conjunto de datos a distancia.

Para acceder a AUSPOS visite la dirección web:

<http://www.ga.gov.au/geodesy/sgc/wwwgps>

❖ CSRS-PPP

El Sistema de Referencia Espacial Canadiense y el Servicio Global de Procesamiento de GPS en línea – Posicionamiento por Punto Preciso (CSRS-PPP) a través de la División de Servicio Geodésico de Recursos Naturales de

Canadá (NRCan) proporciona un servicio para calcular la posición de alta precisión de los datos en bruto de una observación GPS en un modo de post-procesamiento. El sistema PPP utiliza la información de órbita precisa IGS, puede aceptar los datos estáticos o cinemáticos de cualquiera de los receptores de frecuencia simple o doble. Para utilizar el servicio, el usuario tiene que enviar un archivo RINEX, seleccionar el tipo de procesamiento deseado y el marco de referencia de las coordenadas, ya sea en NAD83 (CSRS) o en ITRF. La solución será enviada al usuario por correo electrónico. Los informes de resumen pueden ser cortos o extensos y contienen información estadística, así como las coordenadas.

Consulte la página web de CSRS-PPP:

http://www.geod.nrcan.gc.ca/products-produits/ppp_e.php

❖ IBGE-PPP

El Instituto Brasileiro de Geografía y Estadística - Posicionamiento por Punto Preciso o Punto Absoluto Preciso (IBGE-PPP) es un servicio online para el post-procesamiento de datos GPS. Permite a los usuarios de GPS, obtener coordenadas de buena precisión en el SIRGAS2000 y el ITRF.

IBGE-PPP procesa los datos del GPS que se recogieron en modo estático o cinemático de receptores de una o dos frecuencias. Sólo se acepta los datos del GPS que fueron rastreados después del 25 de febrero del 2005, cuando SIRGAS2000 fue adoptado oficialmente en Brasil.

Para utilizar este servicio el usuario debe tener la siguiente información:

- Los datos GPS deben estar en formato RINEX o Hatanaka, preferiblemente comprimido en WinZip, GZIP, TAR y GZIP (el archivo comprimido reduce considerablemente el tiempo de recepción de la información en su sistema). Está permitido tener más de un archivo RINEX dentro de un archivo comprimido.
- Tipo de antena que se utiliza en el levantamiento, aprobado por el IGS y el valor de la altura de la antena ARP en metros.

Los resultados serán informados a través de correo electrónico proporcionada por el usuario, junto con la presentación de los datos para su procesamiento. Este servicio de posicionamiento hace uso de la aplicación de procesamiento

CSRS-PPP desarrollado por la División de Servicio Geodésico de Recursos Naturales de Canadá (RNCan).

La dirección electrónica de IBGE-PPP es:

<http://www.ppp.ibge.gov.br/ppp.htm>

❖ APPS

El Servicio Automático de Posicionamiento Preciso (APPS) del Sistema Global del GPS Diferencial, aplica la tecnología de posicionamiento GPS más avanzado del Laboratorio de Propulsión a Chorro (JPL) de la NASA. El software para el procesamiento de las mediciones GPS es GIPSY-OASIS del JPL.

La herramienta del APPS usará el Posicionamiento Instantáneo, el usuario debe registrarse, especificar el modo de procesamiento (modo estático), el tipo de medición (doble frecuencia), el acceso en tiempo real a la órbita de GPS y productos de reloj son por defecto, el tipo de código designado en L1, modelo de datos de presión (para mediciones científicas), el ángulo de corte de 15° y el intervalo de grabación. Seleccionar el archivo de datos GPS en RINEX2, RINEX2.11.

Los resultados se dan mediante una página web donde se ubica el punto GPS en un mapa de Google, indicando sus coordenadas geodésicas (Latitud, Longitud y Altura) en ITRF2008.

La dirección web de APPS:

http://apps.gdgps.net/kag_home.php

❖ SCOUT

La Herramienta de Actualización de Coordenadas Scripps (SCOUT) también es una herramienta geodésica vía web que puede utilizarse para calcular un conjunto de coordenadas de una estación.

Para el uso de la herramienta SCOUT se debe presentar el archivo de datos en formato RINEX que podría ser normal o Hatanaka (archivos comprimidos de observación) al servidor de SCOUT, agregar el correo electrónico para el envío de los resultados.

SCOUT utiliza el motor de procesamiento de GAMIT del Instituto de Tecnología Massachusetts (MIT) para procesar el conjunto de datos presentado con los datos CORS de las tres estaciones más cercanas. Un ajuste por mínimos cuadrados de la red se realiza con el rover y CORS.

Las coordenadas cartesianas se hacen referencia en ITRF05, mientras que las coordenadas geodésicas se hacen referencia en el Sistema Geodésico Mundial 1984 (WGS84).

Para acceder a SCOUT vea el enlace web:

<http://sopac.ucsd.edu/cgi-bin/SCOUT.cgi>

3.5.6. Reportes de posicionamiento vía web

Los reportes del OPUS, AUSPOS, CSRS-PPP, IBGE-PPP, APPS se observan detalladamente en el Anexo D y será de un solo punto GPS, debido a la cantidad de reportes, sin embargo la totalidad de los reportes están adjuntados en el Disco Compacto.

No se presentan reportes del servicio SCOUT porque no procesa los tipos de antena usados en la investigación (Hiper+ y GR-3)

Desde la Tabla 3. 26 hasta la Tabla 3. 34 se muestran los resúmenes de los reportes de los diversos servicios de posicionamiento vía web en los 10 puntos GPS, donde se muestra el marco de referencia, la época y el tipo de coordenada. Es importante indicar que las efemérides usadas en los reportes vía web son precisas.

Tabla 3. 26. Resumen de reportes de posicionamiento del OPUS (Coordenadas Cartesianas)

OPUS		COORDENADAS CARTESIANAS					
		X (m)	RMS X (m)	Y (m)	RMS Y (m)	Z (m)	RMS Z (m)
PUNTO 1	ITRF00 (EPOCH:2011.9255)	1399735.264	0.009	-6078241.544	0.132	-1329030.763	0.101
PUNTO 2	ITRF00 (EPOCH:2011.9191)	1400168.585	0.437	-6079142.643	0.708	-1324602.955	0.068
PUNTO 3 Hiper+	ITRF00 (EPOCH:2011.9172)	1398445.799	0.403	-6080581.566	0.391	-1319655.651	0.101
PUNTO 3 GR-3	ITRF00 (EPOCH:2012.0678)	1398446.106	0.263	-6080581.572	0.173	-1319655.542	0.12
PUNTO 4	ITRF00 (EPOCH:2011.9234)	1419141.798	0.153	-6076330.953	0.756	-1318969.187	0.249
PUNTO 5	ITRF00 (EPOCH:2012.0570)	1448892.536	0.335	-6072509.431	0.478	-1307932.486	0.255
PUNTO 6	ITRF00 (EPOCH:2012.0544)	1483887.307	0.33	-6071598.423	0.466	-1285186.539	0.203
PUNTO 7	ITRF00 (EPOCH:2012.0485)	1547099.504	0.234	-6061542.671	0.159	-1254386.291	0.163
PUNTO 8	ITRF00 (EPOCH:2012.0453)	1582677.6	0.221	-6056436.15	0.174	-1223141.521	0.168
PUNTO 9	ITRF00 (EPOCH:2012.0343)	1522984.484	0.311	-6108595.18	0.222	-1023588.38	0.187
PUNTO 10	ITRF00 (EPOCH:2012.0259)	1682682.775	0.595	-6081960.603	0.631	-924849.986	0.126

Tabla 3. 27. Resumen de reportes de posicionamiento del OPUS (Coordenadas Geodésicas)

OPUS		COORDENADAS GEODÉSICAS							
		LATITUD (+n)			RMS LAT (m)	LONGITUD (+e)			RMS LONG (m)
		°	min	s		°	min	s	
PUNTO 1	ITRF00 (EPOCH:2011.9255)	-12	6	25.92394	0.081	-77	1	53.98047	0.028
PUNTO 2	ITRF00 (EPOCH:2011.9191)	-12	3	58.38161	0.205	-77	1	46.70466	0.414
PUNTO 3 Hiper+	ITRF00 (EPOCH:2011.9172)	-12	1	14.03092	0.198	-77	2	52.88166	0.305
PUNTO 3 GR-3	ITRF00 (EPOCH:2012.0678)	-12	1	14.02694	0.092	-77	2	52.87181	0.293
PUNTO 4	ITRF00 (EPOCH:2011.9234)	-12	0	48.57774	0.4	-76	51	14.66523	0.269
PUNTO 5	ITRF00 (EPOCH:2012.0570)	-11	54	36.24043	0.315	-76	34	48.75421	0.271
PUNTO 6	ITRF00 (EPOCH:2012.0544)	-11	41	43.17508	0.308	-76	15	58.4484	0.21
PUNTO 7	ITRF00 (EPOCH:2012.0485)	-11	24	45.39889	0.148	-75	40	55.08905	0.266
PUNTO 8	ITRF00 (EPOCH:2012.0453)	-11	7	43.32739	0.156	-75	21	17.56482	0.251
PUNTO 9	ITRF00 (EPOCH:2012.0343)	-9	17	45.45614	0.211	-76	0	1.88682	0.305
PUNTO 10	ITRF00 (EPOCH:2012.0259)	-8	23	35.62365	0.17	-74	32	5.80653	0.609

Tabla 3. 28. Resumen de reportes de posicionamiento del OPUS (Coordenadas UTM)

OPUS		COORDENADAS UTM		
		NORTE (N) (m)	ESTE (E) (m)	ZONA
PUNTO 1	ITRF00 (EPOCH:2011.9255)	8660769.715	278880.434	18
PUNTO 2	ITRF00 (EPOCH:2011.9191)	8665305.921	279066.835	18
PUNTO 3 Hiper+	ITRF00 (EPOCH:2011.9172)	8670342.221	277027.369	18
PUNTO 3 GR-3	ITRF00 (EPOCH:2012.0678)	8670342.346	277027.666	18
PUNTO 4	ITRF00 (EPOCH:2011.9234)	8671274.28	298144.876	18
PUNTO 5	ITRF00 (EPOCH:2012.0570)	8682901.106	327902.923	18
PUNTO 6	ITRF00 (EPOCH:2012.0544)	8706827.054	361995.495	18
PUNTO 7	ITRF00 (EPOCH:2012.0485)	8738309.759	425602.971	18
PUNTO 8	ITRF00 (EPOCH:2012.0453)	8769766.696	461248.326	18
PUNTO 9	ITRF00 (EPOCH:2012.0343)	8972272.047	390113.917	18
PUNTO 10	ITRF00 (EPOCH:2012.0259)	9072199.348	551198.78	18

Tabla 3. 29. Resumen de reportes de posicionamiento del AUSPOS (Coordenadas Cartesianas)

AUSPOS		COORDENADAS CARTESIANAS		
		X (m)	Y (m)	Z (m)
PUNTO 1	ITRF2008	1399735.316	-6078241.502	-1329030.73
PUNTO 2	ITRF2008	1400168.861	-6079142.464	-1324602.95
PUNTO 3 Hiper+	ITRF2008	1398445.906	-6080581.387	-1319655.601
PUNTO 3 GR-3	ITRF2008	1398445.94	-6080581.439	-1319655.583
PUNTO 4	ITRF2008	1419141.679	-6076330.52	-1318969.248
PUNTO 5	ITRF2008	1448892.499	-6072509.397	-1307932.433
PUNTO 6	ITRF2008	1483887.271	-6071598.393	-1285186.461
PUNTO 7	ITRF2008	1547099.725	-6061542.709	-1254386.224
PUNTO 8	ITRF2008	1582677.803	-6056436.197	-1223141.471
PUNTO 9	ITRF2008	1522984.657	-6108595.067	-1023588.257
PUNTO 10	ITRF2008	1682683.015	-6081960.288	-924849.861

Tabla 3. 30. Resumen de reportes de posicionamiento del AUSPOS (Coordenadas Geodésicas)

AUSPOS		COORDENADAS GEODÉSICAS					
		LATITUD (+n)			LONGITUD (+e)		
		°	min	s	°	min	s
PUNTO 1	ITRF2008	-12	6	25.92308	-77	1	53.97849
PUNTO 2	ITRF2008	-12	3	58.3822	-77	1	46.69445
PUNTO 3 Hiper+	ITRF2008	-12	1	14.03036	-77	2	52.87688
PUNTO 3 GR-3	ITRF2008	-12	1	14.02937	-77	2	52.87616
PUNTO 4	ITRF2008	-12	0	48.58273	-76	51	14.66581
PUNTO 5	ITRF2008	-11	54	36.23903	-76	34	48.75514
PUNTO 6	ITRF2008	-11	41	43.17284	-76	15	58.4493
PUNTO 7	ITRF2008	-11	24	45.39617	-75	40	55.08232
PUNTO 8	ITRF2008	-11	7	43.32517	-75	21	17.55872
PUNTO 9	ITRF2008	-9	17	45.45255	-76	0	1.88042
PUNTO 10	ITRF2008	-8	23	35.62077	-74	32	5.79624

Tabla 3. 31. Resumen de reportes de posicionamiento del CSRS-PPP (Coordenadas Geodésicas)

CSRS - PPP		COORDENADAS GEODÉSICAS					
		LATITUD (+n)			LONGITUD (+e)		
		°	min	s	°	min	s
PUNTO 1	ITRF2008 (2011)	-12	6	25.9232	-77	1	53.9794
PUNTO 2	ITRF2008 (2011)	-12	3	58.3592	-77	1	46.6894
PUNTO 3 Hiper+	ITRF2008 (2011)	-12	1	14.0305	-77	2	52.878
PUNTO 3 GR-3	ITRF2008 (2012)	-12	1	14.0299	-77	2	52.8777
PUNTO 4	ITRF2008 (2011)	-12	0	48.5796	-76	51	14.6703
PUNTO 5	ITRF2008 (2012)	-11	54	36.2398	-76	34	48.7575
PUNTO 6	ITRF2008 (2012)	-11	41	43.1731	-76	15	58.4512
PUNTO 7	ITRF2008 (2012)	-11	24	45.3967	-75	40	55.0857
PUNTO 8	ITRF2008 (2012)	-11	7	43.3254	-75	21	17.5609
PUNTO 9	ITRF2008 (2012)	-9	17	45.4545	-76	0	1.882
PUNTO 10	ITRF2008 (2012)	-8	23	35.6198	-74	32	5.7986

Tabla 3. 32. Resumen de reportes de posicionamiento del CSRS-PPP (Coordenadas UTM)

CSRS - PPP		COORDENADAS UTM		
		NORTE (N) (m)	ESTE (E) (m)	ZONA
PUNTO 1	ITRF2008 (2011)	8660769.738	278880.467	18
PUNTO 2	ITRF2008 (2011)	8665306.613	279067.292	18
PUNTO 3 Hiper+	ITRF2008 (2011)	8670342.235	277027.480	18
PUNTO 3 GR-3	ITRF2008 (2012)	8670342.253	277027.489	18
PUNTO 4	ITRF2008 (2011)	8671274.221	298144.723	18
PUNTO 5	ITRF2008 (2012)	8682901.125	327902.823	18
PUNTO 6	ITRF2008 (2012)	8706827.115	361995.409	18
PUNTO 7	ITRF2008 (2012)	8738309.826	425603.072	18
PUNTO 8	ITRF2008 (2012)	8769766.758	461248.445	18
PUNTO 9	ITRF2008 (2012)	8972272.097	390114.064	18
PUNTO 10	ITRF2008 (2012)	9072199.466	551199.022	18

Tabla 3. 33. Resumen de reportes de posicionamiento del IBGE-PPP (Coordenadas Geodésicas)

IBGE - PPP		COORDENADAS GEODÉSICAS					
		LATITUD (+n)			LONGITUD (+e)		
		°	min	s	°	min	s
PUNTO 1	SIRGAS 2000.4	-12	6	25.9270	-77	1	53.9847
PUNTO 2	SIRGAS 2000.4	-12	3	58.3860	-77	1	46.7009
PUNTO 3 Hiper+	SIRGAS 2000.4	-12	1	14.0348	-77	2	52.8833
PUNTO 3 GR-3	SIRGAS 2000.4	-12	1	14.0339	-77	2	52.8841
PUNTO 4	SIRGAS 2000.4	-12	0	48.5843	-76	51	14.6775
PUNTO 5	SIRGAS 2000.4	-11	54	36.2438	-76	34	48.7626
PUNTO 6	SIRGAS 2000.4	-11	41	43.1775	-76	15	58.4555
PUNTO 7	SIRGAS 2000.4	-11	24	45.4017	-75	40	55.0901
PUNTO 8	SIRGAS 2000.4	-11	7	43.3303	-75	21	17.5637
PUNTO 9	SIRGAS 2000.4	-9	17	45.4579	-76	0	1.8824
PUNTO 10	SIRGAS 2000.4	-8	23	35.6239	-74	32	5.788

Tabla 3. 34. Resumen de reportes de posicionamiento del APPS (Coordenadas Geodésicas)

APPS		COORDENADAS GEODÉSICAS	
		LATITUD (+n) (°)	LONGITUD (+e) (°)
PUNTO 1	ITRF2008 (2011)	-12.10720124	-77.03166124
PUNTO 2	ITRF2008 (2011)	-12.06621730	-77.02963755
PUNTO 3 Hiper+	ITRF2008 (2011)	-12.02056420	-77.04802136
PUNTO 3 GR-3	ITRF2008 (2012)	-12.02056406	-77.04802136
PUNTO 4	ITRF2008 (2011)	-12.01349407	-76.85407558
PUNTO 5	ITRF2008 (2012)	-11.91006678	-76.58021028
PUNTO 6	ITRF2008 (2012)	-11.69532558	-76.26623633
PUNTO 7	ITRF2008 (2012)	-11.41261067	-75.68196824
PUNTO 8	ITRF2008 (2012)	-11.12870148	-75.35487762
PUNTO 9	ITRF2008 (2012)	-9.29595909	-76.00052335
PUNTO 10	ITRF2008 (2012)	-8.39322794	-74.53494393

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS

4.1. ANÁLISIS POST-PROCESO

Del reporte de post-proceso, se analizará: la desviación estándar horizontal para cada sesión de observación GPS, el error relativo en el nivel de confianza del 95%, el orden de precisión y las coordenadas UTM del punto GPS. Las cuales permitirán determinar el tiempo mínimo de observación satelital.

En el análisis se consideró eliminar las siguientes sesiones de observación por punto GPS:

- aquellas que posean desviación estándar muy alejada del promedio de todas las desviaciones estándar,
- cuando el error relativo es mayor que $1/100\ 000$, deber ser de orden C,
- las coordenadas que se alejan del promedio de las mismas (promedio Norte y promedio Este respectivamente)

4.1.1. Resultado del análisis

La fila achurada de color amarillo, es la sesión con el tiempo mínimo para dicho punto GPS, mientras la fila achurada de color rojo corresponde a la sesión de la base.

Tabla 4. 1. Análisis de la observación satelital en el punto 1.

Nombre del archivo de datos	Duración	Distancia (m)	$\sigma = \pm$ Desv Std Hz (m)	$\sigma = \pm$ Desv Std Hz (cm)	$E_{95\%} = \pm 1.9599\sigma$ (m)	$E_{RELATIVO 95\%}$	Orden	Norte UTM (m)	Este UTM (m)	Código
David1204b_ZDA8	00:02:00	1667.973	0.003	0.3	0.006	1/ 283683	C	8660769.716	278880.467	ROVER
David1204c_ZDA8	00:04:10	1667.974	0.002	0.2	0.004	1/ 425525	C	8660769.715	278880.466	ROVER
David1204e_ZDA8	00:14:50	1667.977	0.002	0.2	0.004	1/ 425526	C	8660769.713	278880.464	ROVER
David1204f_ZDA8	00:31:20	1667.973	0.002	0.2	0.004	1/ 425525	C	8660769.714	278880.468	ROVER
David1204g_ZDA8	01:00:20	1667.975	0.002	0.2	0.004	1/ 425526	C	8660769.714	278880.465	ROVER
David1204h_ZDA8	02:00:00	1667.975	0.002	0.2	0.004	1/ 425526	C	8660769.714	278880.466	ROVER
David1204i_ZDA8	03:00:00	1667.975	0.002	0.2	0.004	1/ 425526	C	8660769.714	278880.466	ROVER
LI01			0	0	0		0	8661244.450	280479.727	BASE

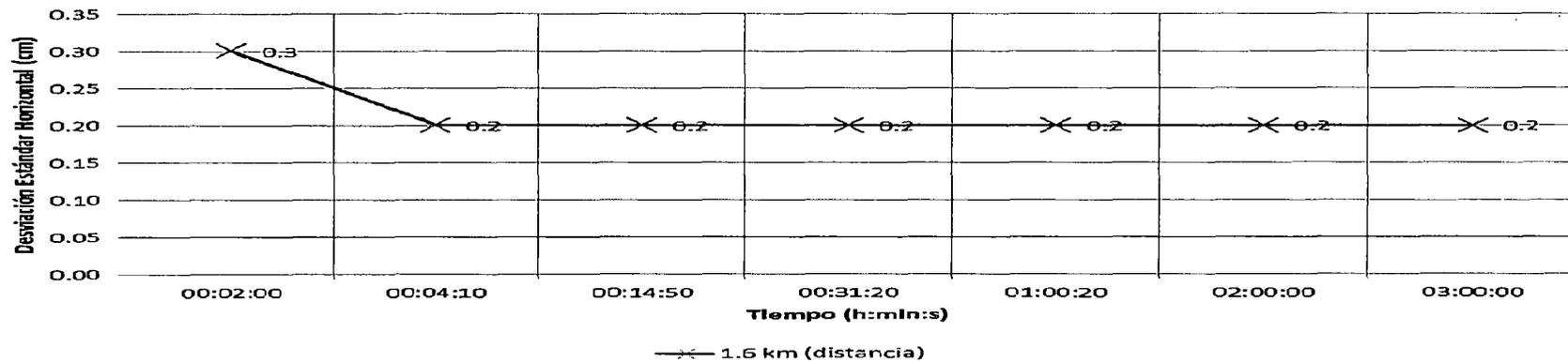


Figura 4. 1. Desviación estándar horizontal del punto 1-Tiempo de observación

Tabla 4. 1. Análisis de la observación satelital en el punto 2.

Nombre del archivo de datos	Duración	Distancia (m)	$\sigma = \pm$ Desv Std Hz (m)	$\sigma = \pm$ Desv Std Hz (cm)	$E_{95\%} = \pm 1.9599\sigma$ (m)	$E_{RELATIVO 95\%}$	Orden	Norte UTM (m)	Este UTM (m)	Código
David1202d_ZDA8	00:15:30	4299.363	0.003	0.3	0.006	1/ 731221	C	8665305.873	279067.088	ROVER
David1202e_ZDA8	00:30:10	4299.360	0.003	0.3	0.006	1/ 731221	C	8665305.868	279067.083	ROVER
David1202f_ZDA8	01:00:30	4299.365	0.003	0.3	0.006	1/ 731222	C	8665305.875	279067.087	ROVER
David1202g_ZDA8	02:00:00	4299.352	0.002	0.2	0.004	1/ 1096829	B	8665305.861	279067.086	ROVER
U01			0	0	0		0	8661244.450	280479.727	BASE

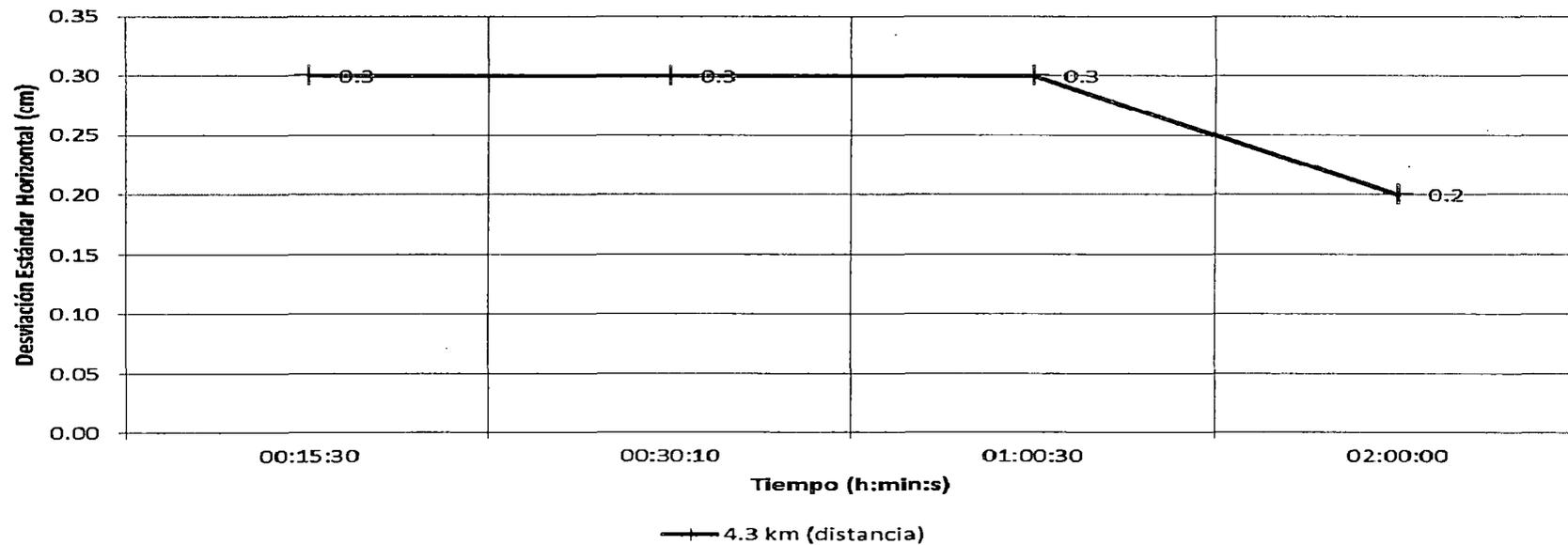


Figura 4. 1. Desviación estándar horizontal del punto 2-Tiempo de observación

Tabla 4. 3. Análisis de la observación satelital en el punto 3.

Nombre del archivo de datos	Duración	Distancia (m)	$\sigma = \pm$ Desv Std Hz (m)	$\sigma = \pm$ Desv Std Hz (cm)	$E_{95\%} = \pm 1.9599\sigma$ (m)	$E_{RELATIVO 95\%}$	Orden	Norte UTM (m)	Este UTM (m)	Código
hiper+1201d_ZDA8	01:01:05	9728.976	0.005	0.50	0.010	1/ 992803	C	8670342.186	277027.447	ROVER
UNI0125q_VE00	02:02:30	9728.973	0.006	0.60	0.012	1/ 827336	C	8670342.195	277027.479	ROVER
UNI0125s_VE00	03:10:30	9728.968	0.006	0.60	0.012	1/ 827335	C	8670342.194	277027.490	ROVER
U01			0	0	0		0	8661244.450	280479.727	BASE

Se combinó las dos observaciones realizadas con el receptor Hiper+ y GR-3 obteniendo el tiempo mínimo en el punto 3.

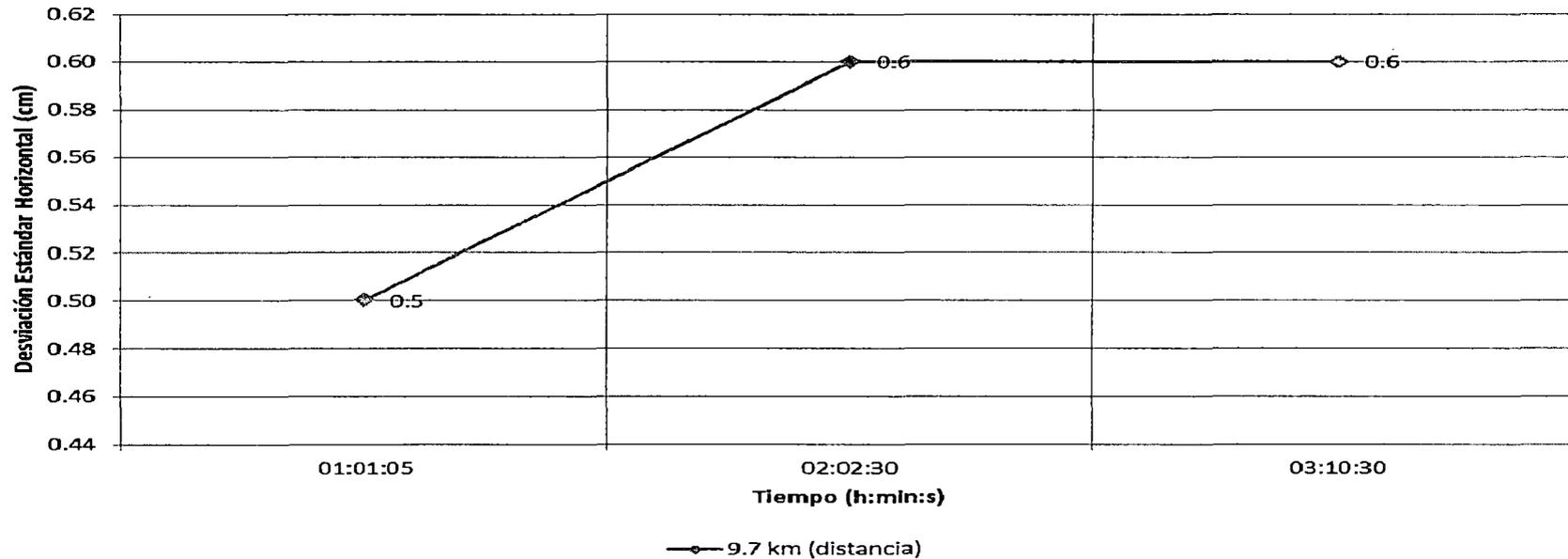


Figura 4. 3. Desviación estándar horizontal del punto 3-Tiempo de observación

Tabla 4. 4. Análisis de la observación satelital en el punto 4.

Nombre del archivo de datos	Duración	Distancia (m)	$\sigma = \pm$ Desv Std Hz (m)	$\sigma = \pm$ Desv Std Hz (cm)	$E_{95\%} = \pm 1.9599\sigma$ (m)	$E_{RELATIVO 95\%}$	Orden	Norte UTM (m)	Este UTM (m)	Código
David1203b_ZDA8	00:20:30	20314.811	0.012	1.2	0.024	1/ 863769	C	8671274.195	298144.675	ROVER
David1203c_ZDA8	00:40:20	20314.803	0.010	1.0	0.020	1/ 1036522	B	8671274.202	298144.661	ROVER
David1203d_ZDA8	01:01:40	20314.769	0.028	2.8	0.055	1/ 370186	C	8671274.205	298144.621	ROVER
David1203e_ZDA8	02:01:20	20314.963	0.010	1.0	0.020	1/ 1036531	B	8671274.191	298144.850	ROVER
David1203f_ZDA8	03:06:10	20314.845	0.011	1.1	0.022	1/ 942295	C	8671274.227	298144.699	ROVER
LI01			0	0	0		0	8661244.450	280479.727	BASE

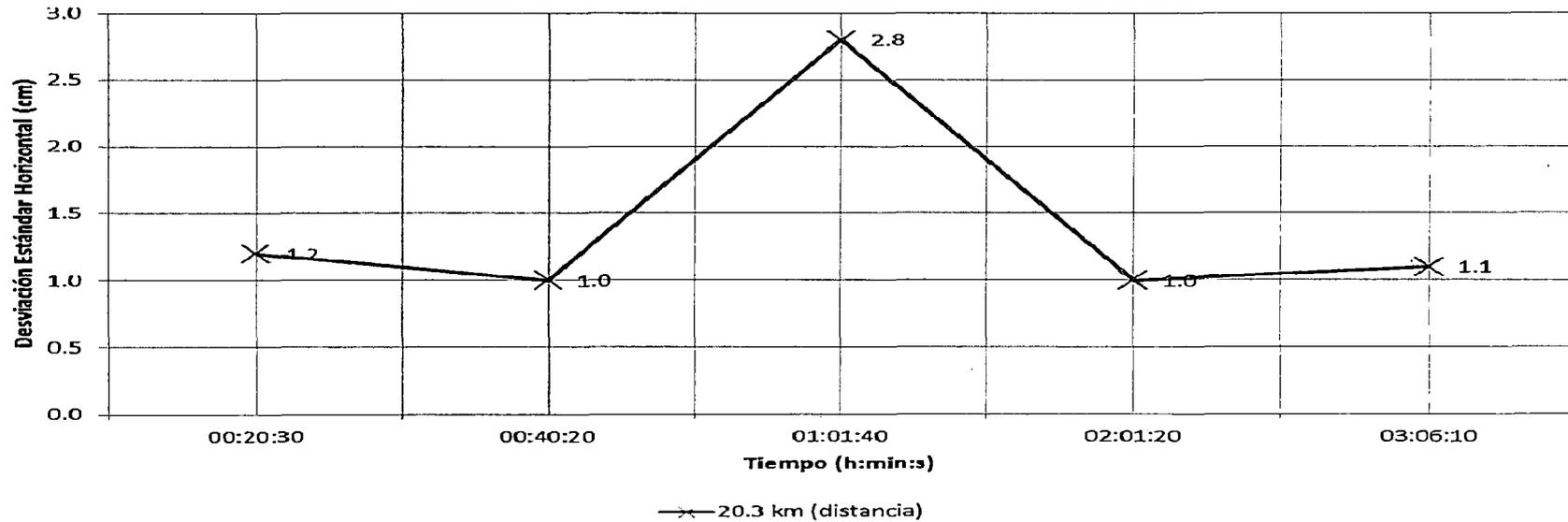


Figura 4. 4. Desviación estándar horizontal del punto 4-Tiempo de observación

Tabla 4. 4. Análisis de la observación satelital en el punto 5.

Nombre del archivo de datos	Duración	Distancia (m)	$\sigma = \pm$ Desv Std Hz (m)	$\sigma = \pm$ Desv Std Hz (cm)	$E_{95\%} = \pm 1.9599\sigma$ (m)	$E_{RELATIVO 95\%}$	Orden	Norte UTM (m)	Este UTM (m)	Código
CORC0121q_VEO0	02:01:00	52147.663	0.015	1.5	0.029	1/ 1773821	B	8682901.100	327902.768	ROVER
CORC0122e_VEO0	03:01:00	52147.673	0.016	1.6	0.031	1/ 1662957	B	8682901.097	327902.782	ROVER
CORC0122a_VEO0	04:01:00	52147.671	0.016	1.6	0.031	1/ 1662957	B	8682901.100	327902.778	ROVER
CORC0121s_VEO0	05:00:10	52147.670	0.014	1.4	0.027	1/ 1900522	B	8682901.094	327902.777	ROVER
W01			0	0	0		0	8661244.450	280479.727	BASE

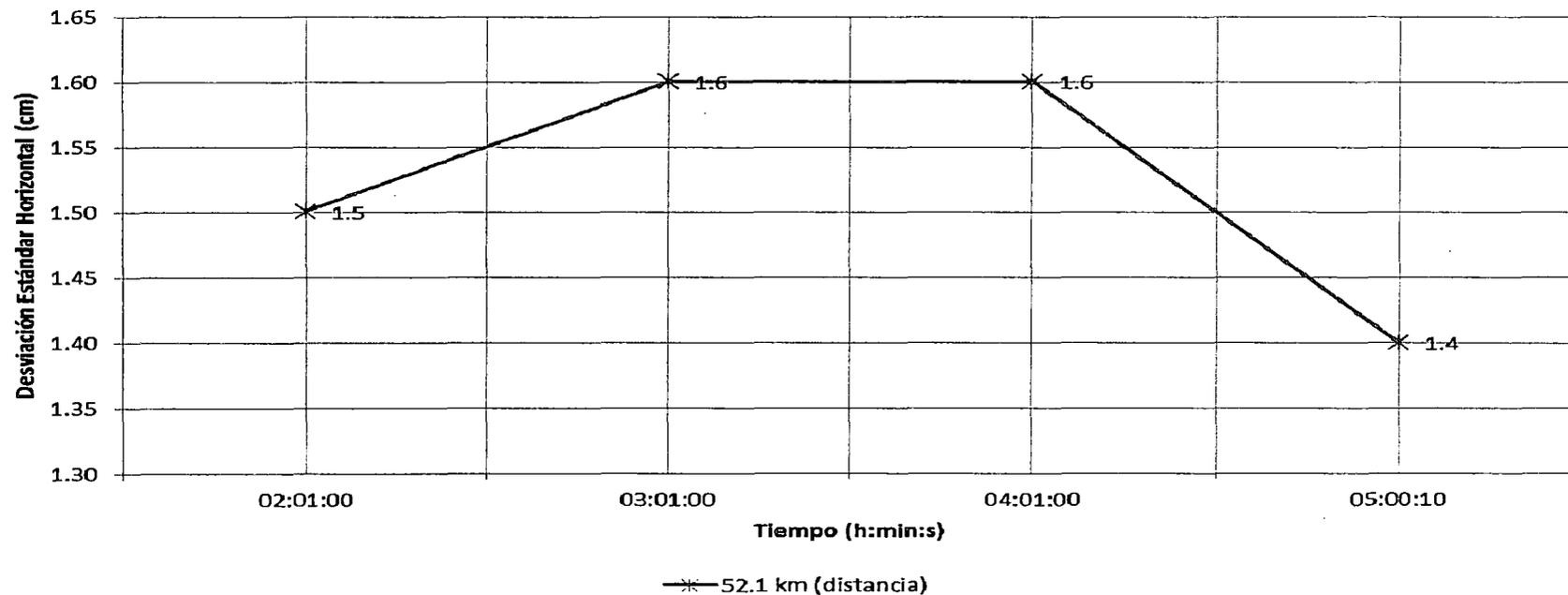


Figura 4. 4. Desviación estándar horizontal del punto 5-Tiempo de observación

Tabla 4. 6. Análisis de la observación satelital en el punto 6.

Nombre del archivo de datos	Duración	Distancia (m)	$\sigma = \pm$ Desv Std Hz (m)	$\sigma = \pm$ Desv Std Hz (cm)	$E_{95\%} = \pm 1.9599\sigma$ (m)	$E_{RELATIVO 95\%}$	Orden	Norte UTM (m)	Este UTM (m)	Código
CASP0121d_VEO0	02:00:20	93493.489	0.023	2.30	0.045	1 / 2074052	B	8706827.092	361995.398	ROVER
CASP0121a_VEO0	03:00:10	93493.486	0.024	2.40	0.047	1 / 1987633	B	8706827.090	361995.397	ROVER
CASP0120o_VEO0	05:01:50	93493.488	0.021	2.10	0.041	1 / 2271581	B	8706827.099	361995.394	ROVER
U01			0	0	0		0	8661244.450	280479.727	BASE

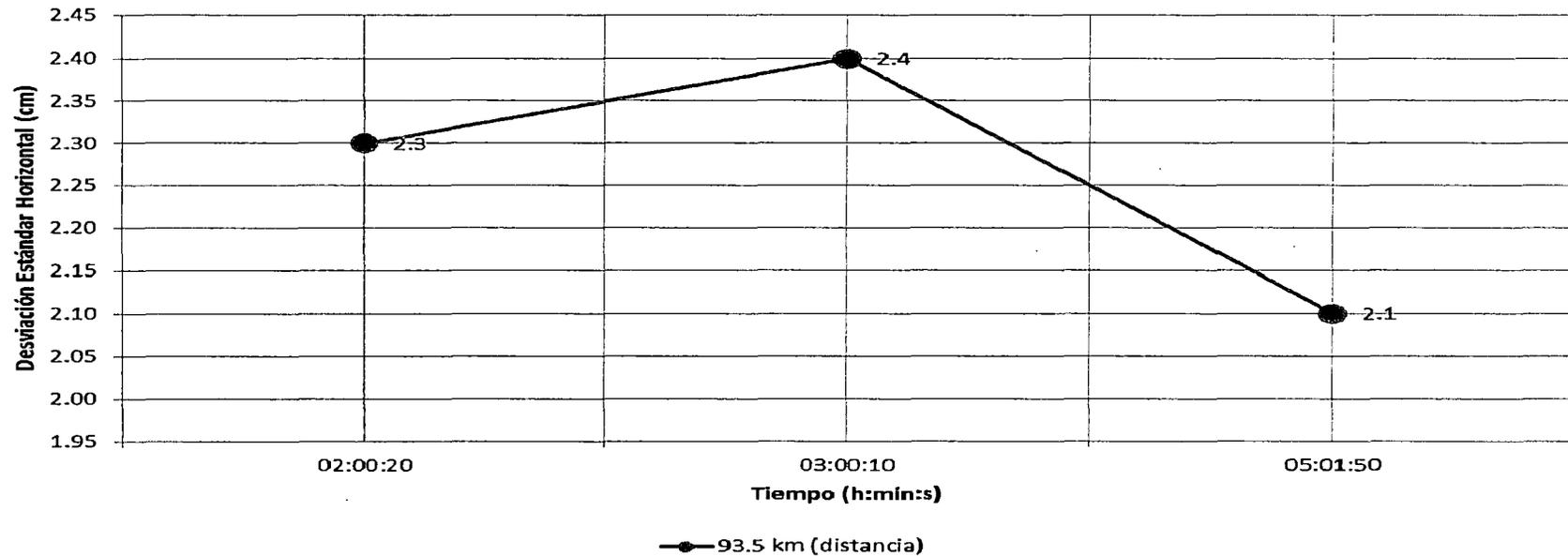


Figura 4. 6. Desviación estándar horizontal del punto 6-Tiempo de observación

Tabla 4. 7. Análisis de la observación satelital en el punto 7.

Nombre del archivo de datos	Duración	Distancia (m)	$\sigma = \pm$ Desv Std Hz (m)	$\sigma = \pm$ Desv Std Hz (cm)	$E_{95\%} = \pm 1.9599\sigma$ (m)	$E_{RELATIVO 95\%}$	Orden	Norte UTM (m)	Este UTM (m)	Código
SR0118v_VEO0	05:32:20	164397.695	0.043	4.3	0.084	1/ 1950713	B	8738309.815	425603.071	ROVER
TARM0119l_VEO0	07:00:40	164397.648	0.040	4.0	0.078	1/ 2097016	B	8738309.807	425603.024	ROVER
SR0118n_VEO0	08:02:00	164397.673	0.040	4.0	0.078	1/ 2097016	B	8738309.812	425603.049	ROVER
U01			0	0	0		0	8661244.450	280479.727	BASE

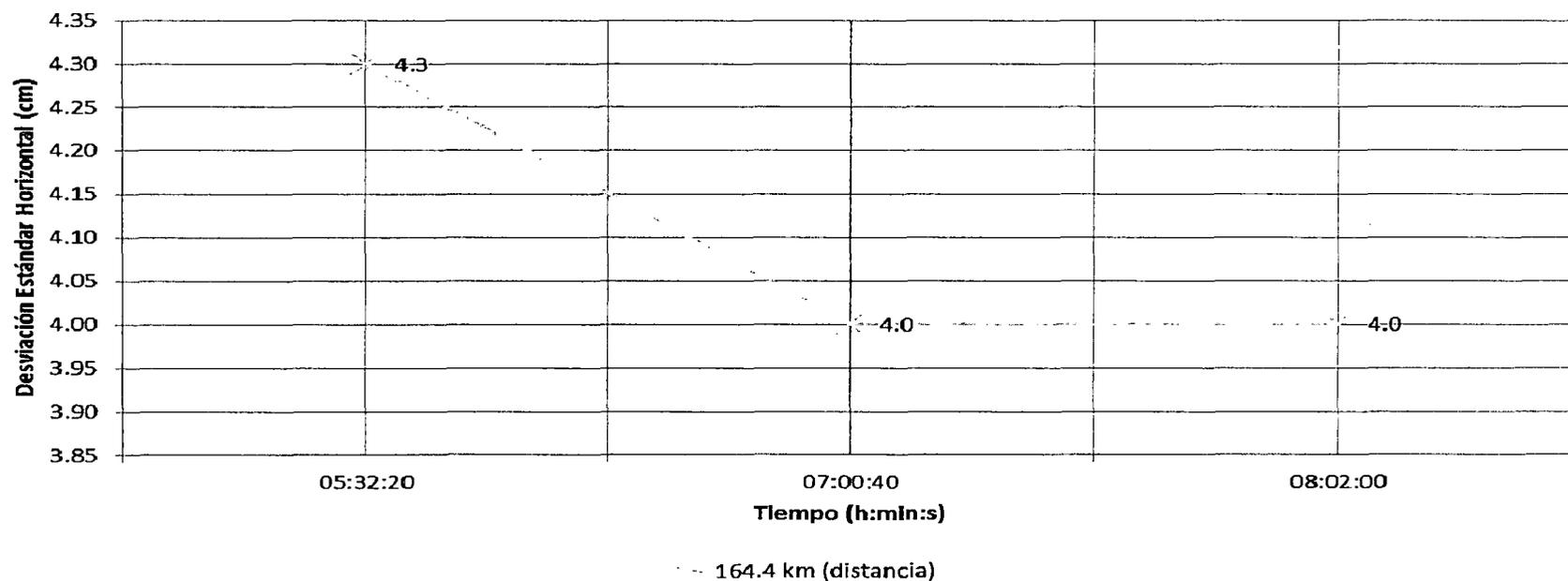


Figura 4. 7. Desviación estándar horizontal del punto 7-Tiempo de observación

Tabla 4. 8. Análisis de la observación satelital en el punto 8.

Nombre del archivo de datos	Duración	Distancia (m)	$\sigma = \pm$ Desv Std Hz (m)	$\sigma = \pm$ Desv Std Hz (cm)	$E_{95\%} = \pm 1.9599\sigma$ (m)	$E_{RELATIVO 95\%}$	Orden	Norte UTM (m)	Este UTM (m)	Código
SR0116o_VEO0	04:01:50	210884.018	0.047	4.7	0.092	1/ 2289348	B	8769766.742	461248.408	ROVER
SR0116s_VEO0	07:02:50	210884.005	0.052	5.2	0.102	1/ 2069219	B	8769766.745	461248.392	ROVER
SR0117i_VEO0	10:03:50	210884.037	0.055	5.5	0.108	1/ 1956352	B	8769766.739	461248.433	ROVER
LI01			0	0	0		0	8661244.450	280479.727	BASE

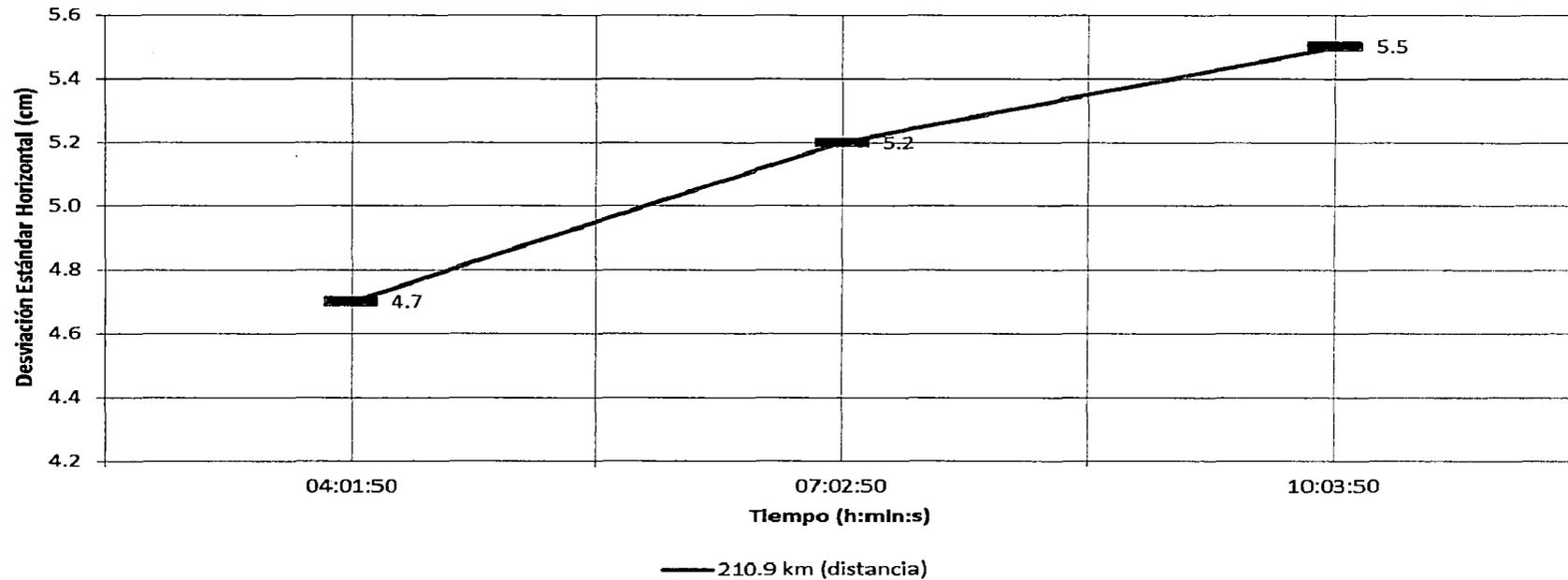


Figura 4. 8. Desviación estándar horizontal del punto 8-Tiempo de observación

Tabla 4. 9. Análisis de la observación satelital en el punto 9.

Nombre del archivo de datos	Duración	Distancia (m)	$\sigma = \pm$ Desv Std Hz (m)	$\sigma = \pm$ Desv Std Hz (cm)	$E_{95\%} = \pm 1.9599\sigma$ (m)	$E_{RELATIVO\ 95\%}$	Orden	Norte UTM (m)	Este UTM (m)	Código
Tingo0112k_VEO0	11:03:20	329786.532	0.096	9.6	0.188	1 / 1752781	B	8972272.096	390113.994	ROVER
Tingo0113g_VEO0	15:11:40	329786.503	0.074	7.4	0.145	1 / 2273878	B	8972272.090	390113.913	ROVER
Tingo0114u_VEO0	18:50:20	329786.560	0.073	7.3	0.143	1 / 2305028	B	8972272.100	390114.051	ROVER
U01			0	0	0		0	8661244.450	230479.727	BASE

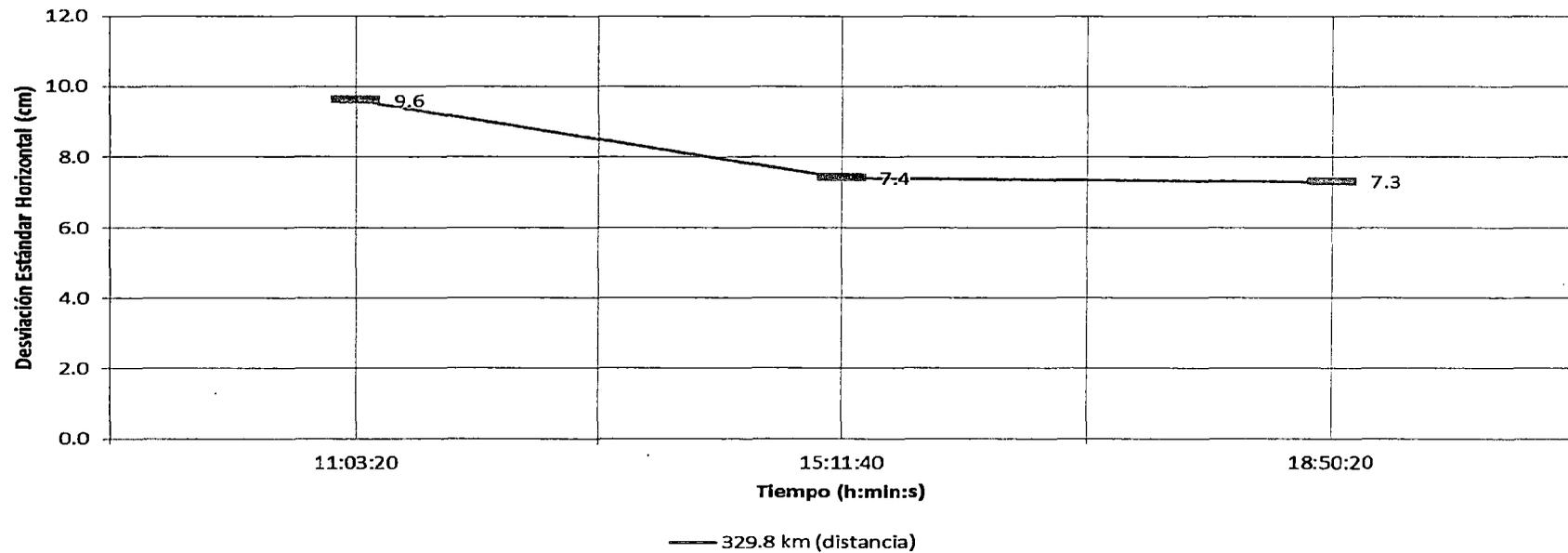


Figura 4. 9. Desviación estándar horizontal del punto 9-Tiempo de observación

Tabla 4. 10. Análisis de la observación satelital en el punto 10.

Nombre del archivo de datos	Duración	Distancia (m)	$\sigma = \pm$ Desv Std Hz (m)	$\sigma = \pm$ Desv Std Hz (cm)	$E_{95\%} = \pm 1.9599\sigma$ (m)	$E_{RELATIVO\ 95\%}$	Orden	Norte UTM (m)	Este UTM (m)	Código
Pucc0109c_VE00	15:05:10	492116.644	0.107	10.7	0.210	1 / 2346661	B	9072199.425	551199.025	ROVER
Pucc0110w_VE00	21:00:50	492116.661	0.094	9.4	0.184	1 / 2671199	B	9072199.414	551199.072	ROVER
U01			0	0	0		0	8661244.450	280479.727	BASE

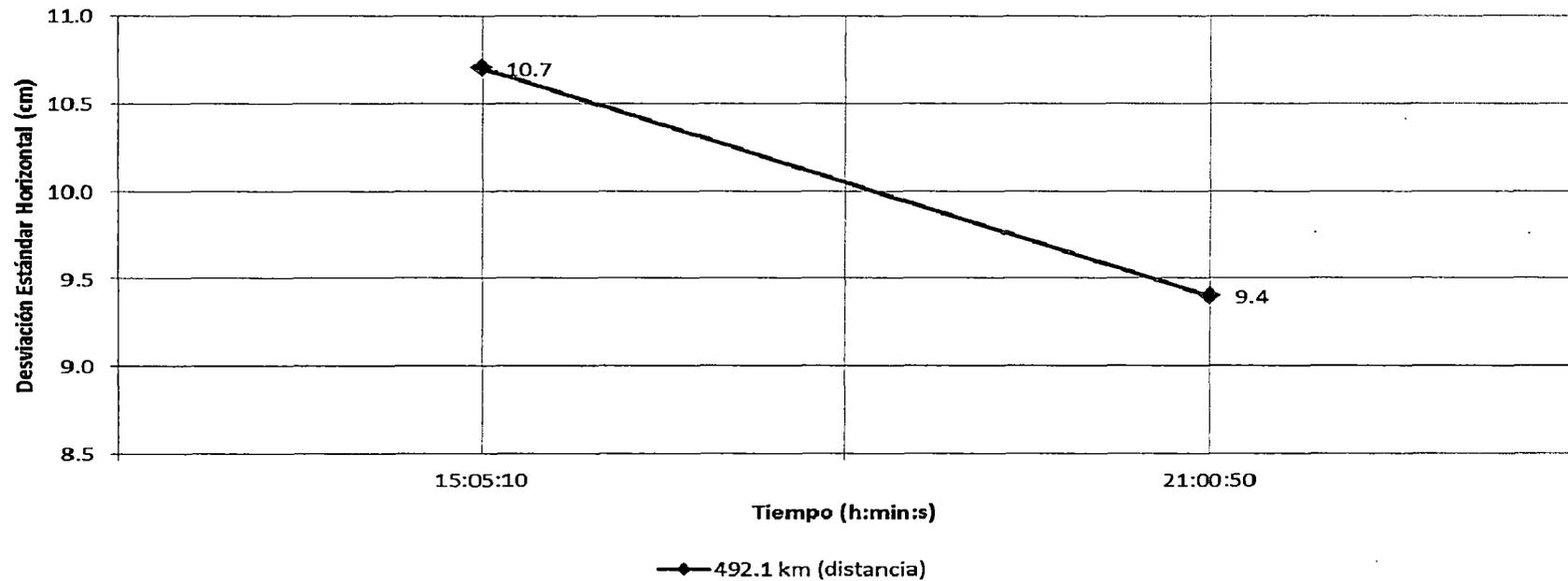


Figura 4. 10. Desviación estándar horizontal del punto 10-Tiempo de observación

4.1.2. Resumen de los puntos GPS analizados

El punto 4 no se consideró por presentar incongruencias en las sesiones de observación.

Tabla 4. 11. Tiempo mínimo de todos los puntos GPS.

Punto	Nombre del archivo de datos	Duración	Duración (min)	Distancia (m)	Distancia (km)	$\sigma = \pm$ Desv Std Hz (m)	$E_{95\%} = \pm 1.9599\sigma$ (m)	$E_{RELATIVO 95\%}$	Orden	Norte UTM (m)	Este UTM (m)	Código
1	David1204c_ZDA8	00:04:10	4.17	1667.974	1.67	0.002	0.004	1 / 425525	C	8660769.715	278880.466	ROVER
2	David1202d_ZDA8	00:15:30	15.50	4299.363	4.30	0.003	0.006	1 / 731221	C	8665305.873	279067.088	ROVER
3	hiper+1201d_ZDA8	01:01:05	61.09	9728.976	9.73	0.005	0.010	1 / 992803	C	8670342.186	277027.447	ROVER
5	CORCO121q_VEO0	02:01:00	121.00	52147.663	52.15	0.015	0.029	1 / 1773821	B	8682901.100	327902.768	ROVER
6	CASPO121d_VEO0	02:00:20	120.33	93493.489	93.49	0.023	0.045	1 / 2074052	B	8706827.092	361995.398	ROVER
7	SRO118v_VEO0	05:32:20	332.34	164397.695	164.40	0.043	0.084	1 / 1950713	B	8738309.815	425603.071	ROVER
8	SRO116s_VEO0	07:02:50	422.84	210884.005	210.88	0.052	0.102	1 / 2069219	B	8769766.745	461248.392	ROVER
9	Tingo0113g_VEO0	15:11:40	911.67	329786.503	329.79	0.074	0.145	1 / 2273878	B	8972272.090	390113.913	ROVER
10	Pucc0110w_VEO0	21:00:50	1260.83	492116.661	492.12	0.094	0.184	1 / 2671199	B	9072199.414	551199.072	ROVER
IGN	LIG1			0	0	0	0		0	8661244.450	280479.727	BASE

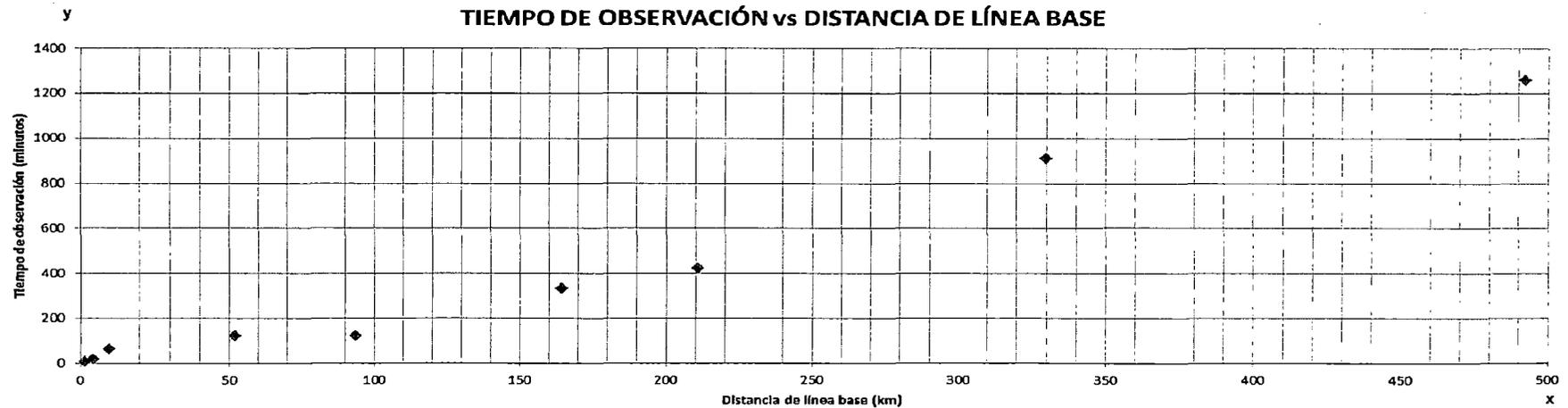


Figura 4. 11. Tiempo de observación-Distancia de línea base (todos los puntos GPS)

Los puntos no considerados en el ajuste de la curva tiempo mínimo de observación, serán el punto 6, 9 y 10. El punto 6 para conservar la continuidad de la curva y los dos puntos restantes por su excesivo tiempo de observación. Además se consideró el punto de IGN o punto BASE.

Tabla 4. 12. Puntos GPS considerados en el ajuste de la curva de tiempo mínimo.

Punto	Nombre del archivo de datos	Duración	Duración (min)	Distancia (m)	Distancia (km)	$\sigma = \pm$ Desv Std Hz (m)	$E_{95\%} = \pm 1.9599\sigma$ (m)	$E_{RELATIVO 95\%}$	Orden	Norte UTM (m)	Este UTM (m)	Código
1	David1204c_ZDA8	00:04:10	4.17	1667.974	1.67	0.002	0.004	1/ 425525	C	8660769.715	278880.466	ROVER
2	David1202d_ZDA8	00:15:30	15.5	4299.363	4.30	0.003	0.006	1/ 731221	C	8665305.873	279067.088	ROVER
3	hiper+1201d_ZDA8	01:01:05	61.09	9728.976	9.73	0.005	0.010	1/ 992803	C	8670342.186	277027.447	ROVER
5	CORC0121q_VEO0	02:01:00	121	52147.663	52.15	0.015	0.029	1/ 1773821	B	8682901.100	327902.768	ROVER
7	SR0118v_VEO0	05:32:20	332.34	164397.695	164.40	0.043	0.084	1/ 1950713	B	8738309.815	425603.071	ROVER
8	SR0116s_VEO0	07:02:50	422.84	210884.005	210.88	0.052	0.102	1/ 2069219	B	8769766.745	461248.392	ROVER
IGN	U01	0	0	0	0	0	0	0	0	8661244.450	280479.727	BASE

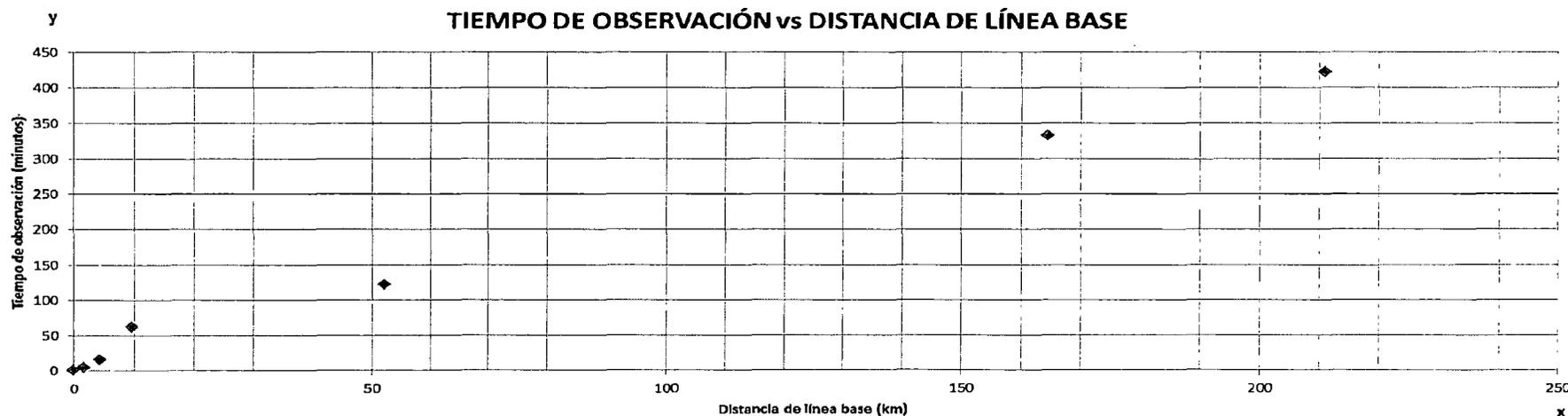


Figura 4. 12. Tiempo de observación-Distancia de línea base (puntos considerados en el ajuste de curva)

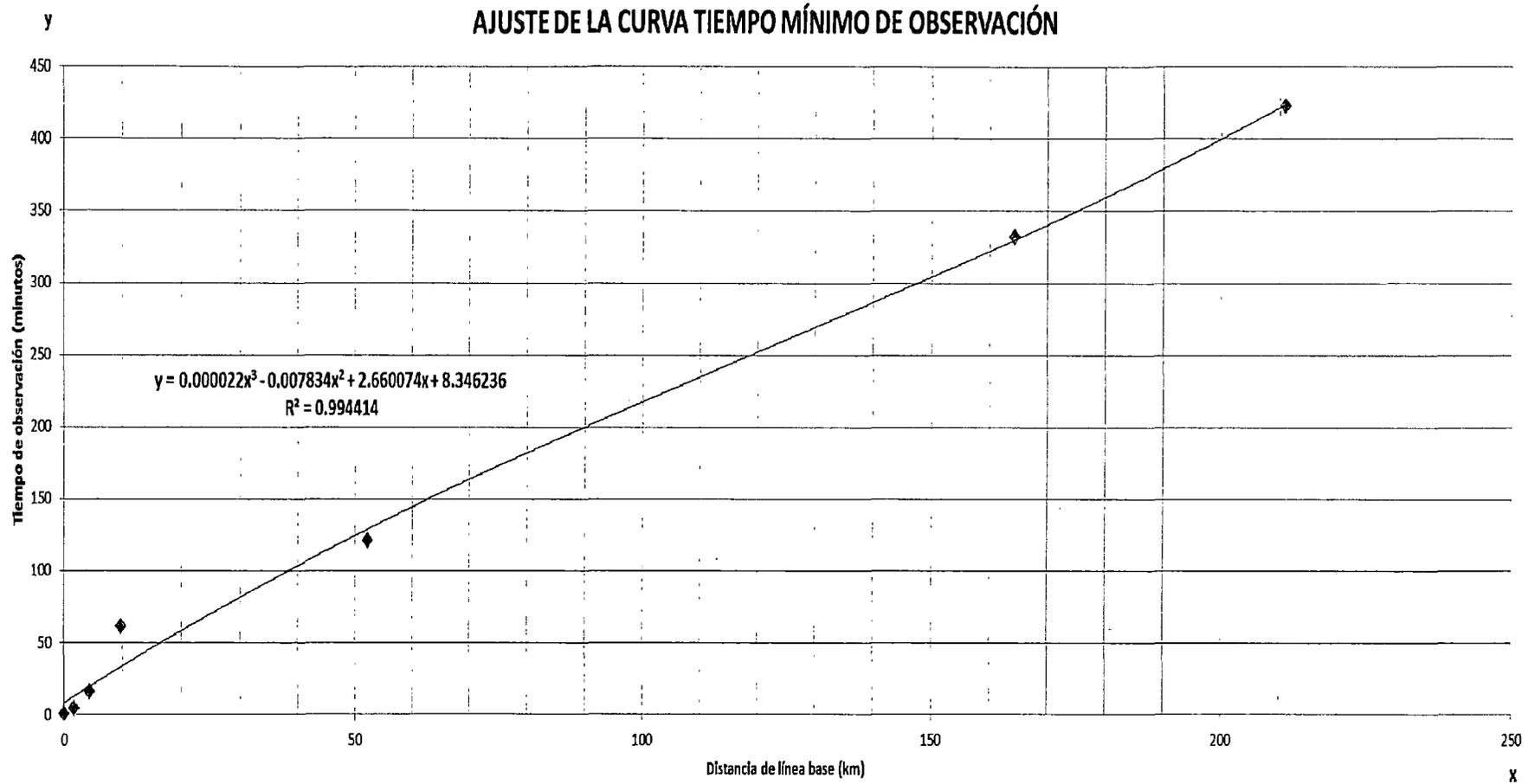


Figura 4. 13. Ajuste de la curva tiempo mínimo de observación

Fuente: Elaboración propia.

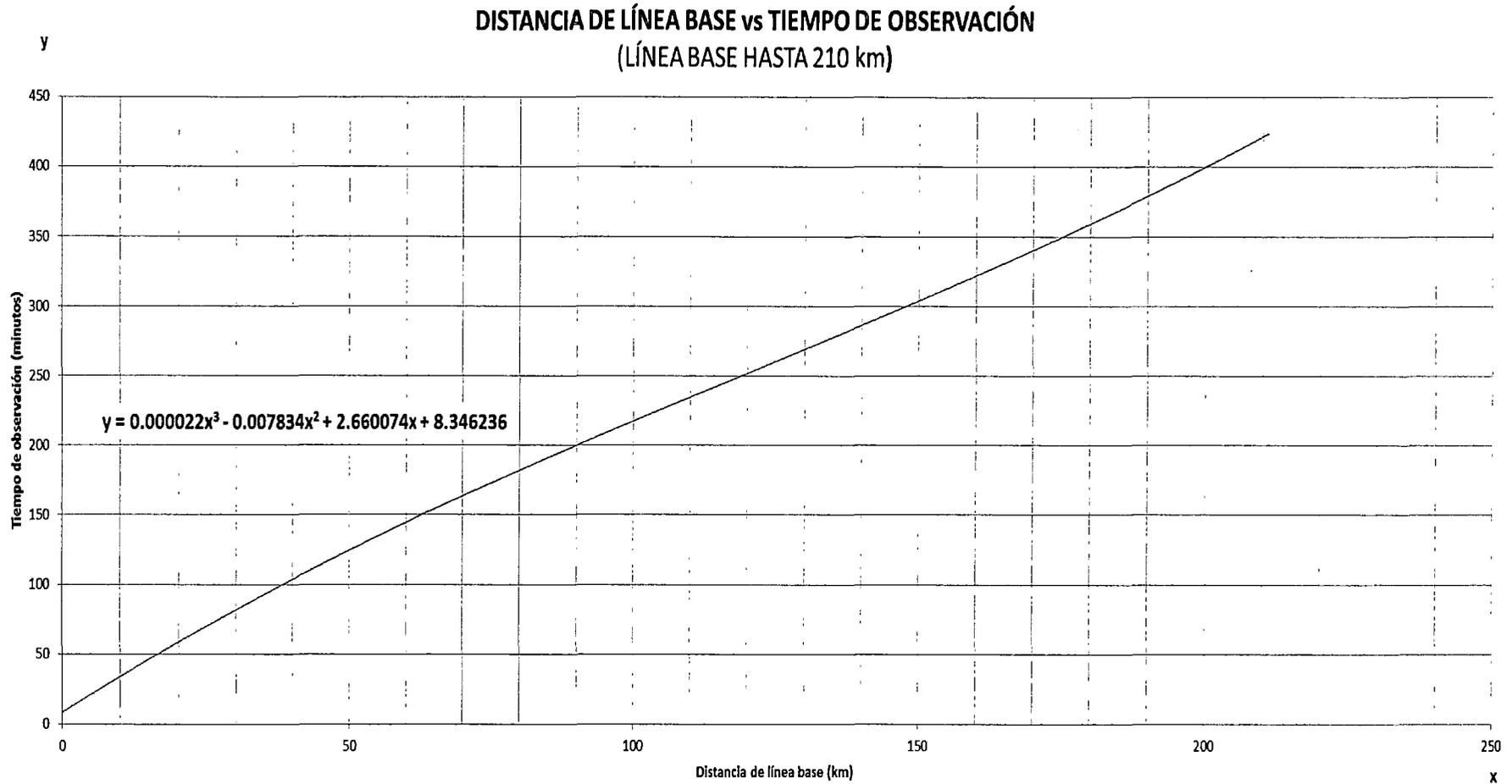


Figura 4. 14. Curva tiempo mínimo de observación (distancia de línea base hasta 210km)

Fuente: Elaboración propia.

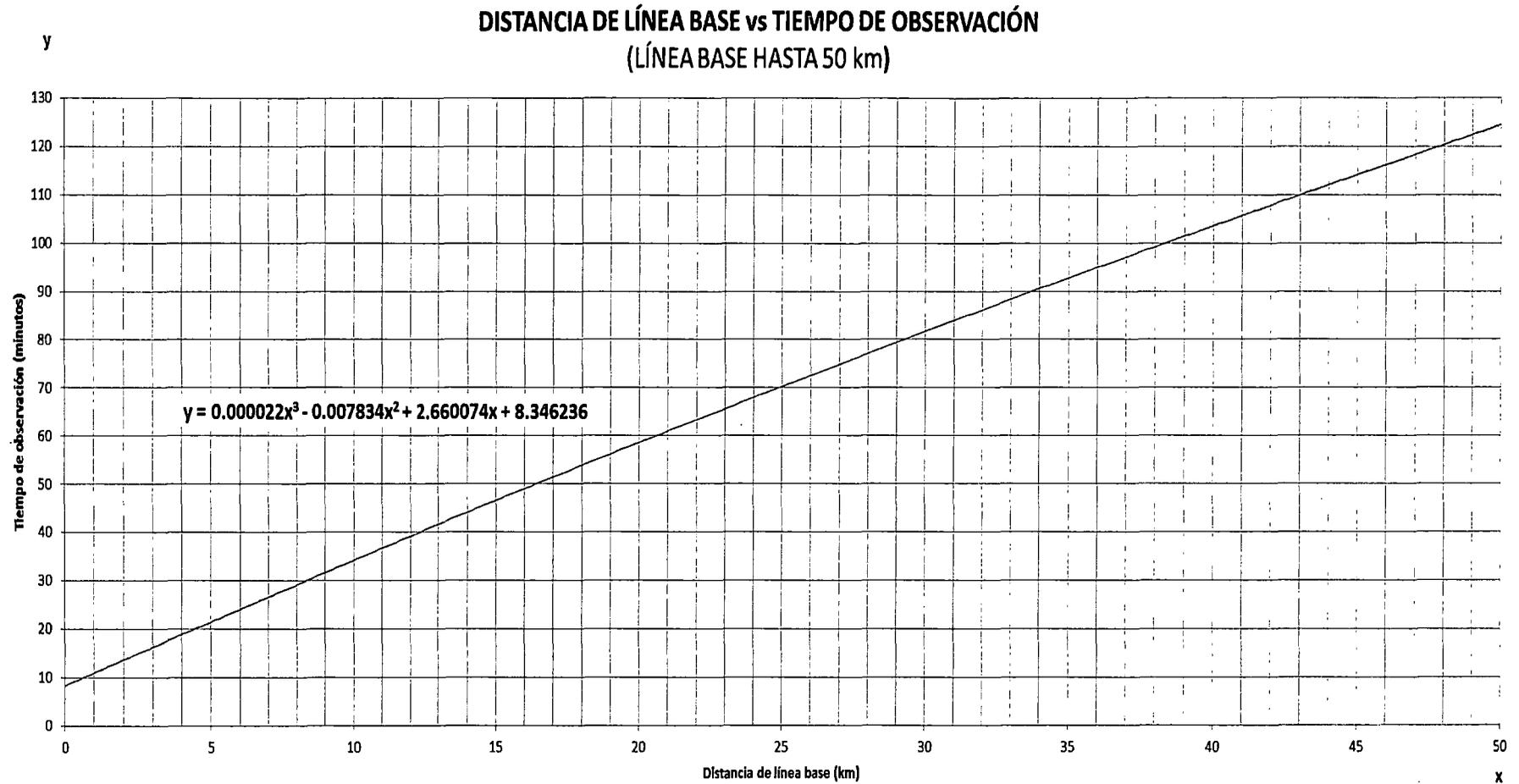


Figura 4. 15. Curva tiempo mínimo de observación (distancia de línea base hasta 50km)

Fuente: Elaboración propia.

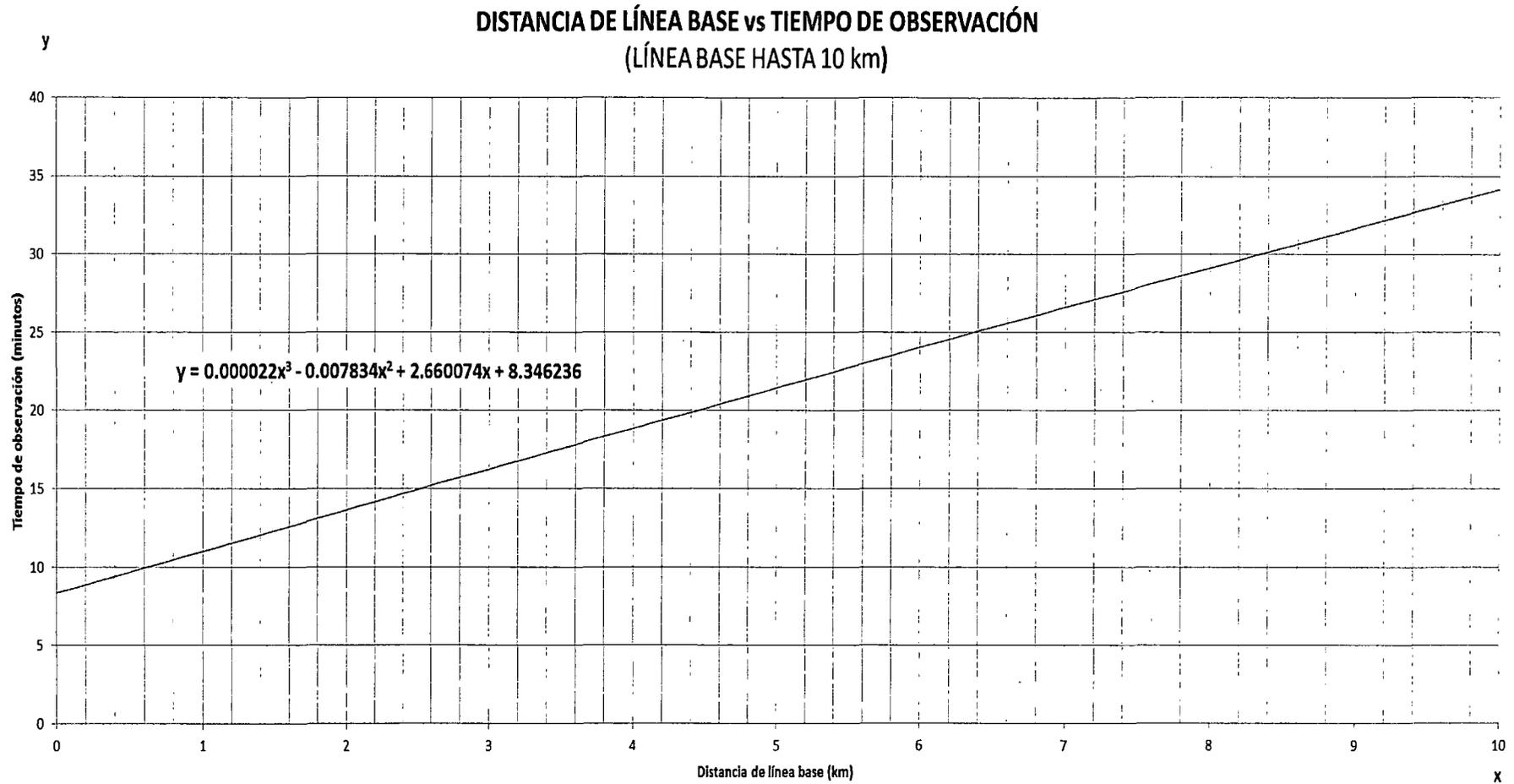


Figura 4. 16. Curva tiempo mínimo de observación (distancia de línea base hasta 10km)

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. 13. Comparación de coordenadas UTM del software de post-procesamiento Topcon Tools y los servicios de posicionamiento vía web (OPUS y CSRS-PPP)

	TOPCON TOOLS		OPUS		CSRS-PPP		TOPCON TOOLS-OPUS		TOPCON TOOLS-CSRS	
	Norte UTM (m)	Este UTM (m)	Norte UTM (m)	Este UTM (m)	Norte UTM (m)	Este UTM (m)	ΔN (m)	ΔE (m)	ΔN (m)	ΔE (m)
Punto 1	8660769.715	278880.466	8660769.715	278880.434	8660769.738	278880.467	0.000	0.032	-0.023	-0.001
Punto 2	8665305.873	279067.088	8665305.921	279066.835	8665306.613	279067.292	-0.048	0.253	-0.740	-0.204
Punto 3 (Hiper+)	8670342.186	277027.447	8670342.221	277027.369	8670342.235	277027.480	-0.035	0.078	-0.049	-0.033
Punto 4	—	—	8671274.280	298144.876	8671274.221	298144.723	—	—	—	—
Punto 5	8682901.100	327902.768	8682901.106	327902.923	8682901.125	327902.823	-0.006	-0.155	-0.025	-0.055
Punto 6	8706827.092	361995.398	8706827.054	361995.495	8706827.115	361995.409	0.038	-0.097	-0.023	-0.011
Punto 7	8738309.815	425603.071	8738309.759	425602.971	8738309.826	425603.072	0.056	0.100	-0.011	-0.001
Punto 8	8769766.745	461248.392	8769766.696	461248.326	8769766.758	461248.445	0.049	0.066	-0.013	-0.053
Punto 9	8972272.090	390113.913	8972272.047	390113.917	8972272.097	390114.064	0.043	-0.004	-0.007	-0.151
Punto 10	9072199.414	551199.072	9072199.348	551198.780	9072199.466	551199.022	0.066	0.292	-0.052	0.050

En la Tabla 4. 13 las coordenadas UTM resultado del software de post-procesamiento Topcon Tools v. 8.2 consideró el tiempo mínimo de observación para cada punto GPS. Se obvió el punto 3 observado con el receptor GR-3 y solamente se consideró la observación con el receptor Hiper+. Se eliminó el punto 4 por presentar incongruencias en la observación.

Los servicios OPUS y CSRS-PPP utilizaron efemérides precisas en los resultados de las coordenadas UTM, mientras el Topcon Tools utilizó efemérides broadcast (transmitidas).

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

- La función $y = 0.000022x^3 - 0.007834x^2 + 2.660074x + 8.346236$, donde:
 x es la distancia en kilómetros; y es el tiempo en minutos.

Nos permite obtener el tiempo mínimo de visado, para una distancia de línea base de hasta 210 km y precisión de orden C.

Tabla 5. 1. Valores de tiempo mínimo-distancia de línea base (1 km hasta 210 km)

Distancia de línea base (km)	Tiempo mínimo (minutos)
x	y
1	11
5	22
10	35
20	59
50	125
100	219
150	306
200	403
210	426

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5. 2. Valores de tiempo mínimo-distancia de línea base (10 km hasta 50 km)

Distancia de línea base (km)	Tiempo mínimo (minutos)
x	y
10	35
15	47
20	59
25	71
30	82
35	93
40	104
45	115
50	125

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 5. 3. Valores de tiempo mínimo-distancia de línea base (1 km hasta 10 km)

Distancia de línea base (km)	Tiempo mínimo (minutos)
x	Y
1	11
2	14
3	17
4	19
5	22
6	25
7	27
8	30
9	32
10	35

Fuente: Elaboración propia.

- El tiempo mínimo de observación GPS, no disminuye la exactitud y la confiabilidad de los puntos geodésicos.
- El tiempo mínimo de observación GPS permitirá el aumento de la productividad y la eficiencia en los levantamientos GPS.
- El empleo de la estación de rastreo permanente como base, permitió el ahorro de tiempo y costo porque evita la instalación de un equipo GPS como base y por consecuencia el alquiler del mismo.
- El archivo de datos del IGN (estación de rastreo permanente) cuenta con 24 horas de observación satelital lo que facilita la manejabilidad del tiempo de observación del rover en un punto geodésico.
- Las coordenadas obtenidas con el software de post-proceso Topcon Tools son coordenadas absolutas oficiales porque están enlazadas con la red geodésica oficial (estación de rastreo permanente) del IGN. Las coordenadas están expresadas según el Datum WGS84 y en proyecciones cartográficas UTM - zona 18 del hemisferio Sur.
- El tiempo mínimo de observaciones satelitales depende de los siguientes factores: la distancia de la línea base, el número de satélites visibles, la geometría satelital (DOP), la ubicación de la antena, el nivel de actividad ionosférica, los tipos de receptores utilizados, los requerimientos de precisión, el software de post-proceso, el tipo de efemérides y las velocidades del sitio.

- El software de post-proceso Topcon Tools considera automáticamente los factores de nivel de actividad ionosférica.
- El factor de velocidades del sitio del punto GPS no se consideró porque se asumió como coordenada absoluta (inmóvil) el punto del IGN.
- Los servicios vía web (OPUS, AUSPOS, IBGE-PPP, etc.) son completamente automáticos y requieren una cantidad mínima de información: correo electrónico, archivo de datos, tipo de antena y altura vertical de su punto de referencia (ARP).
- El tiempo de observación satelital requerido por los servicios vía web para métodos estáticos son de 2 horas como mínimo y 48 horas como máximo.
- Los servicios vía web son de altísima precisión, porque utilizan software científicos (PAGES, GIPSY, etc.) que consideran los factores de velocidades del sitio, carga de océano, retraso ionosférico, presión atmosférica, etc. La presente tesis no ha corroborado el procesamiento de las observaciones satelitales efectuada por los servicios vía web, solamente se presentaron los resultados generados automáticamente por dichos servicios.

5.2. RECOMENDACIONES

- Para distancias de línea base mayores a 210 km se recomienda utilizar redes geodésicas y así aminorar la distancia.
- Para conseguir resultados más detallados y exhaustivos se debe repetir las sesiones por cada punto GPS, esto implicaría mayor cantidad de días de observación en un mismo punto.
- Se podrían emplear dos o más estaciones de referencia (base) en vez de una sola.
- Los resultados obtenidos en la presente tesis, deberían ser comparados con otras técnicas de observación (medición) como por ejemplo: la medición electrónica de distancia (MED), la interferometría de línea base muy larga (VLBI) y la medición láser por satélite (SLR).
- Los resultados de los servicios vía web pueden ser usados, porque la diferencia entre los resultados del Topcon Tools y los servicios vía web son centimétricos, sin embargo no tienen un valor oficial.

BIBLIOGRAFÍA

1. Chihuán Gaspar Raymundo. **“Propuesta de una metodología para el levantamiento del uso del GPS en la Selva”**. Tesis FIC-UNI, Lima, Perú, 2002.
2. Federación Internacional de Agrimensores. **“Técnicas de Posicionamiento GNSS de bajo costo”**. Edición N° 49, Copenhagen, Dinamarca, 2010.
3. Herrera Rosado, Ralfo. **“Apuntes del curso Geodesia Satelital”**. FIC - UNI, Lima, Perú, 2010.
4. Huerta, Eduardo y otros. **“GPS Posicionamiento Satelital”**. Edición N°01, Editorial UNR, Universidad Nacional de Rosario, Rosario, Argentina, 2005.
5. IGN (Instituto Geográfico Nacional). **“Proyecto de Normas Técnicas de Levantamientos Geodésicos”**. Lima, Perú, 2005.
6. Lizarme, Luis Alfredo. **“Uso de los sistemas de información geográfica y sensores remotos para la implementación del catastro urbano – Plan piloto del distrito de Talavera–Andahuaylas”**. Tesis FIC-UNI, Lima, Perú, 2007.
7. Mendoza Dueñas Jorge. **“Apuntes del curso Geodesia Satelital”**. FIC-UNI, Lima, Perú, 2011.
8. Revista Geoexpo. **“El GPS en el Perú”**. Edición N° 09, Publicación Minergía, Lima, Perú, 2004.
9. Seeber Günter. **“Satellite Geodesy”**. Edición N° 02, Editorial Walter de Gruyter, Berlín, Alemania, 2003.

ANEXOS

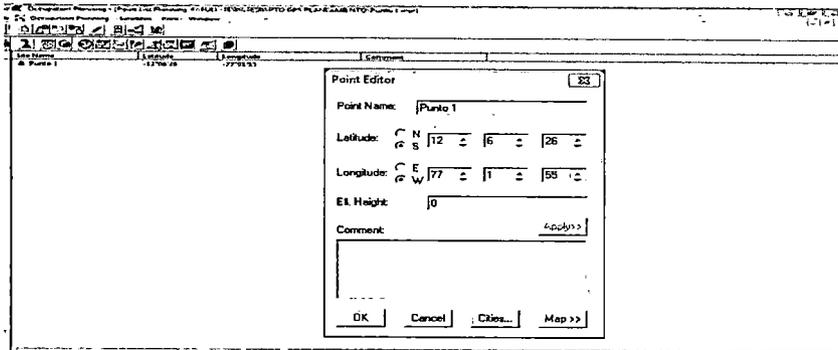
ÍNDICE DE LOS ANEXOS

ANEXO A:	PLANEAMIENTO DE LAS OBSERVACIONES GPS	II
ANEXO B:	FORMULARIO DE INFORMACIÓN DE LA ESTACIÓN GPS PERMANENTE	XIII
ANEXO C:	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL RECEPTOR GPS.....	XVII
ANEXO D:	REPORTES DE POSICIONAMIENTO VÍA WEB	XIX
ANEXO E:	PANEL FOTOGRÁFICO	XXXV

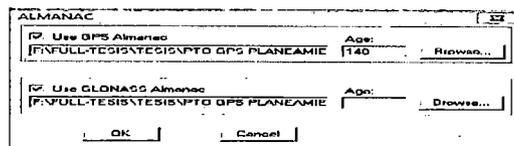
ANEXO A: PLANEAMIENTO DE LAS OBSERVACIONES GPS

❖ Planeamiento de la observación GPS en el Punto 1

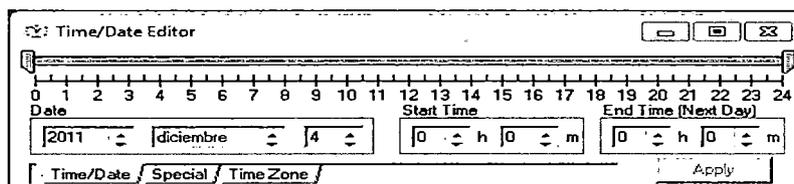
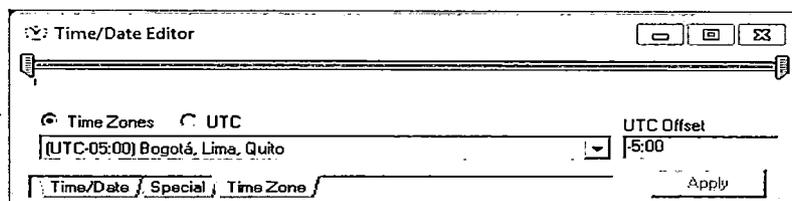
- El software usado es Occupation Planning. 
- Lo primero es indicar la ubicación aproximada del punto, podría ser con el apoyo del Google Earth.



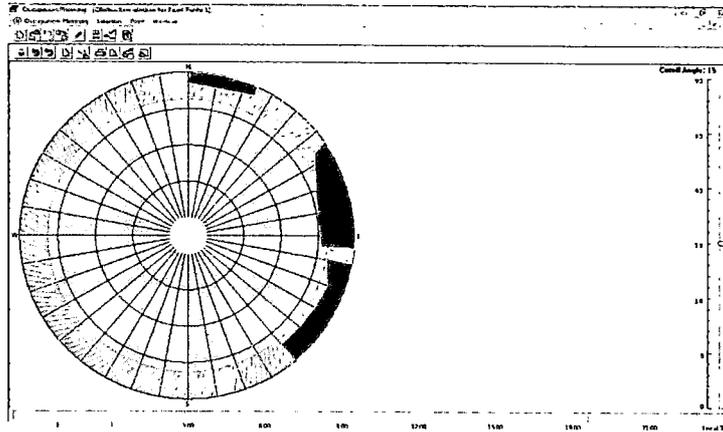
- Elegir la data almacenada en un receptor, para utilizarlo como almanaque, ésta no debe sobrepasar los 30 días previos a la observación.



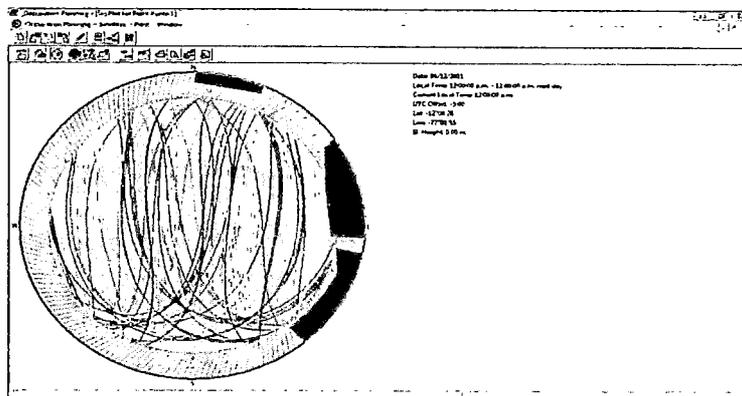
- Configurar el tiempo local y el inicio - fin (duración) de la observación en el día planeado.



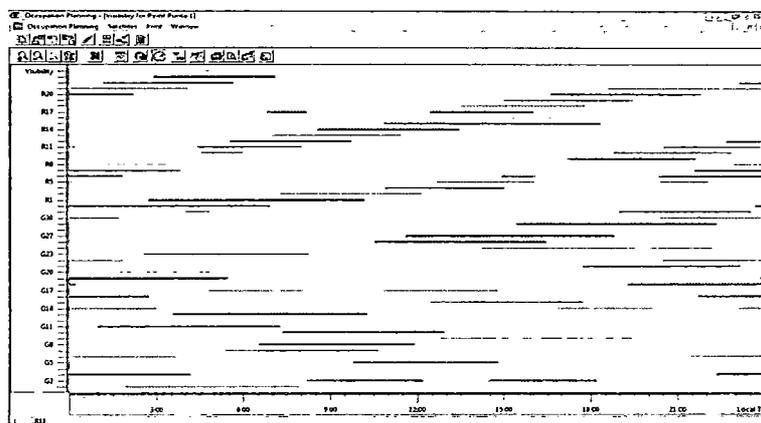
- Levantamos las obstrucciones con el eclímetro y la brújula en el campo, para después introducir las mediciones en el círculo, que representa la vista en 360° alrededor del punto.



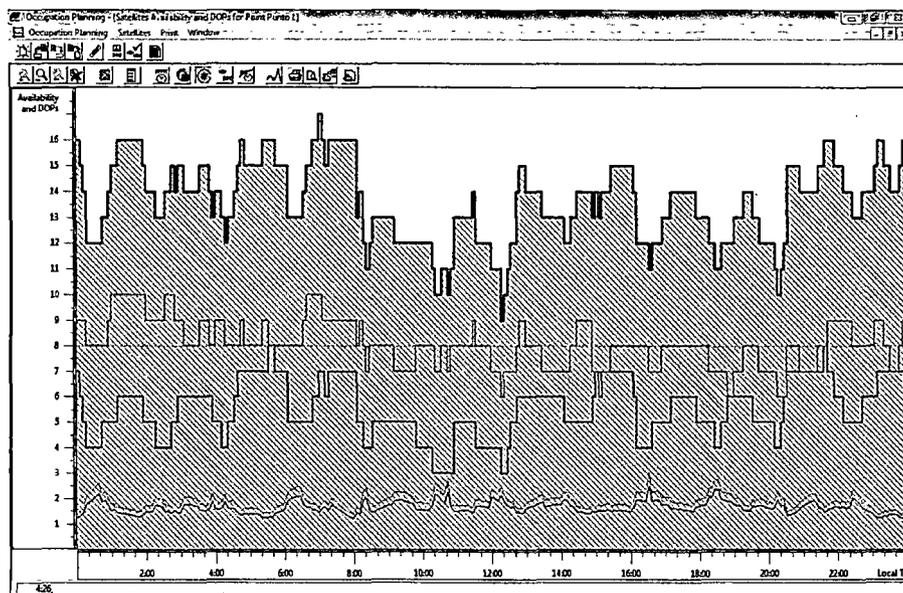
- Activamos la ventana de visibilidad de los satélites (órbitas) el día planeado de la observación GPS, considerando las obstrucciones.



- También se puede activar otra ventana de visibilidad de los satélites para el día planeado de la observación GPS, considerando las obstrucciones.

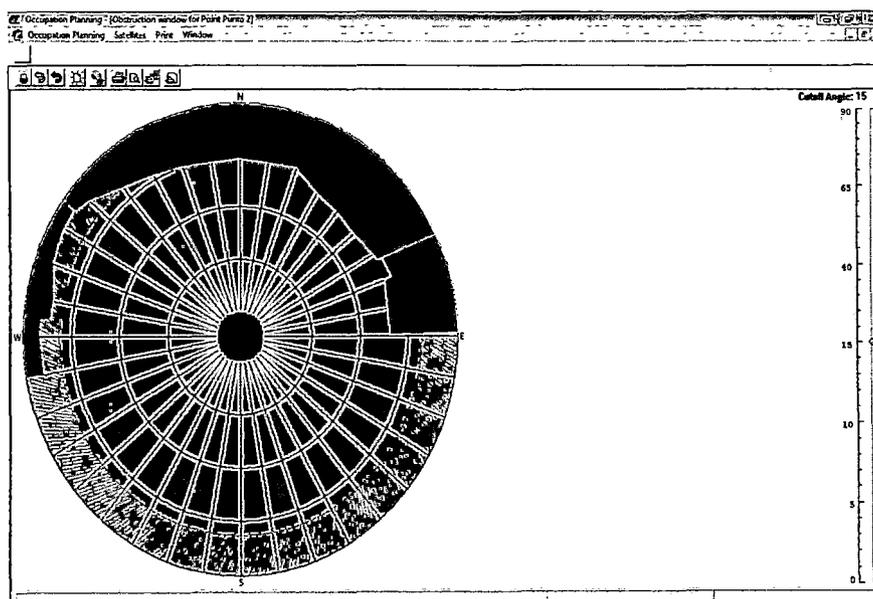


- El gráfico representa el número de satélites GLONASS (línea marrón), NAVSTAR (línea morada), NAVSTAR y GLONASS juntas (línea verde) que orbitarán sobre el punto GPS en el horario. Los DOPs, GDOP (línea celeste) y PDOP (línea roja).
- El día proyectado (04-12-2011) para la observación en el punto 1, cumple con los requerimientos mínimos para una observación de calidad.

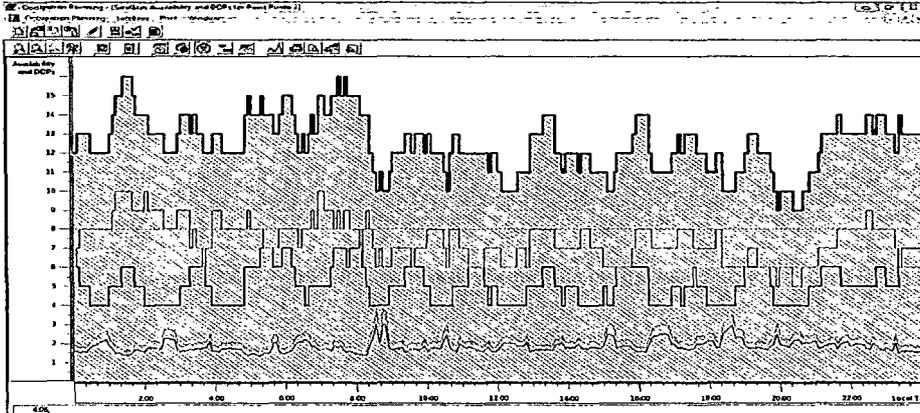


❖ Planeamiento de la observación GPS en el Punto 2

- Obstrucciones alrededor del punto 2.

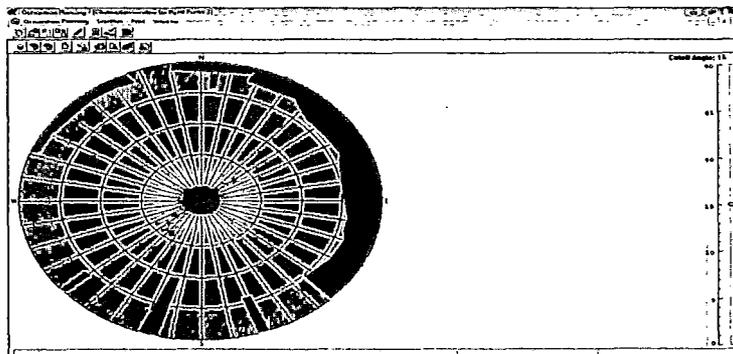


- El día proyectado (02-12-2011) para la observación en el punto 2, cumple con los requerimientos mínimos para una observación de calidad.

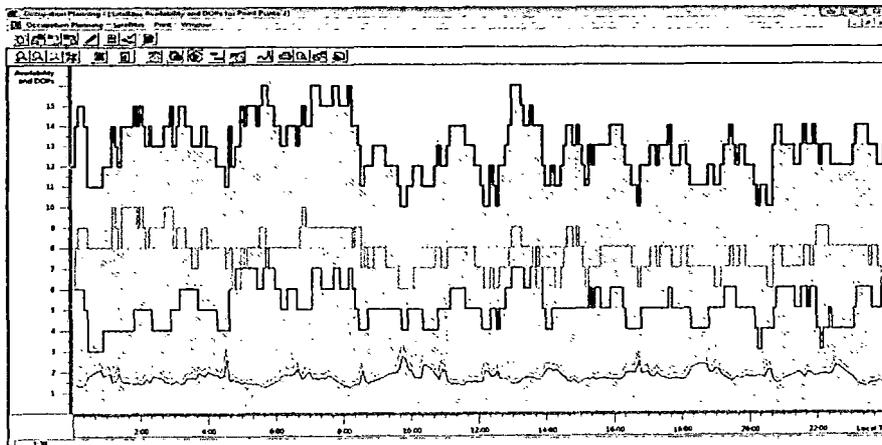


❖ **Planeamiento de la observación GPS en el Punto 3**

- Obstrucciones alrededor del punto 3.

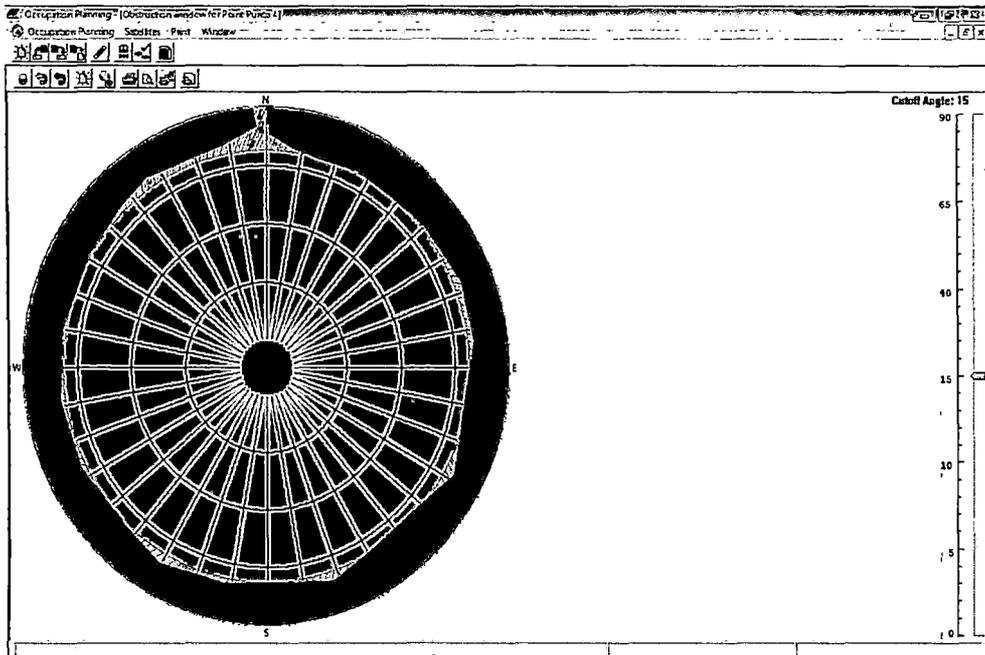


- El día proyectado (01-12-2011) para la observación en el punto 3, cumple con los requerimientos mínimos para una observación de calidad.

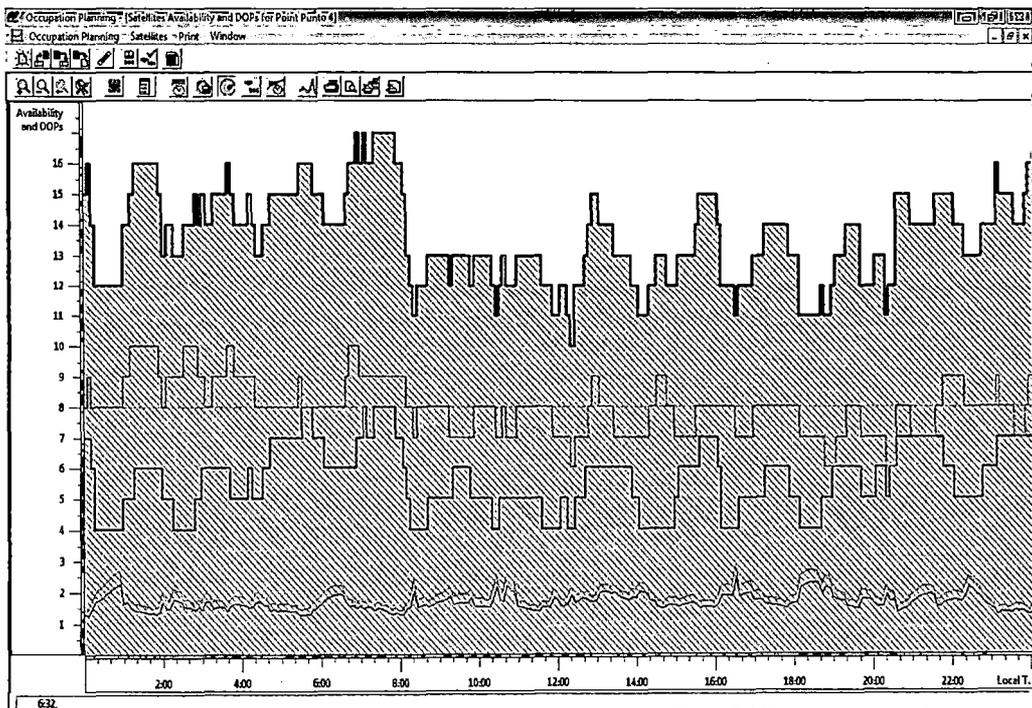


❖ Planeamiento de la observación GPS en el Punto 4

- Obstrucciones alrededor del punto 4.

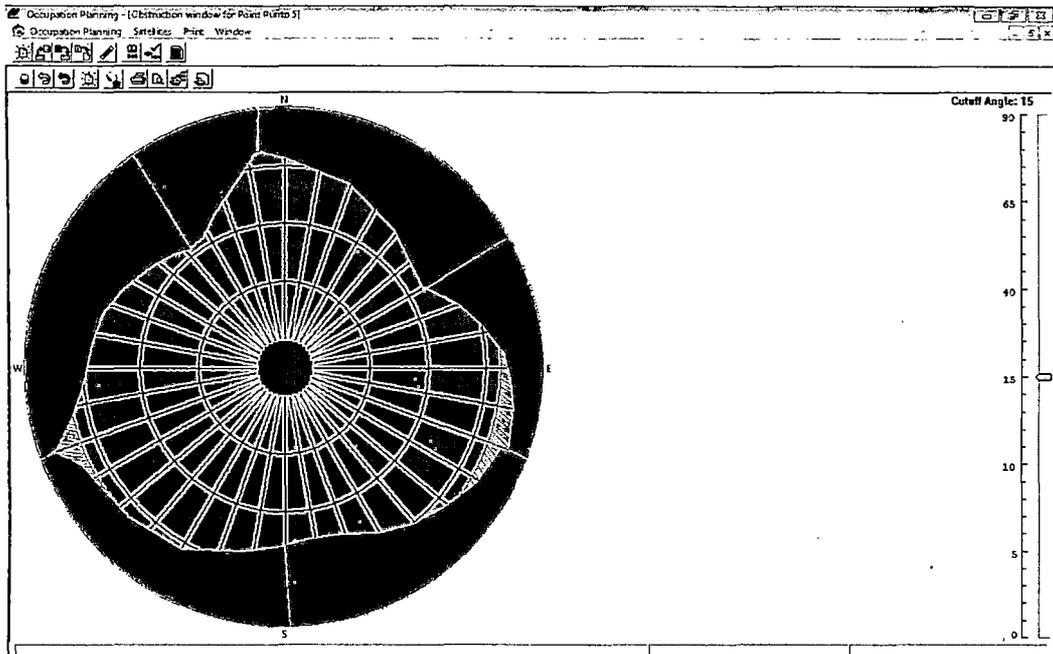


- El día proyectado (03-12-2011) para la observación en el punto 4, cumple con los requerimientos mínimos para una observación de calidad.

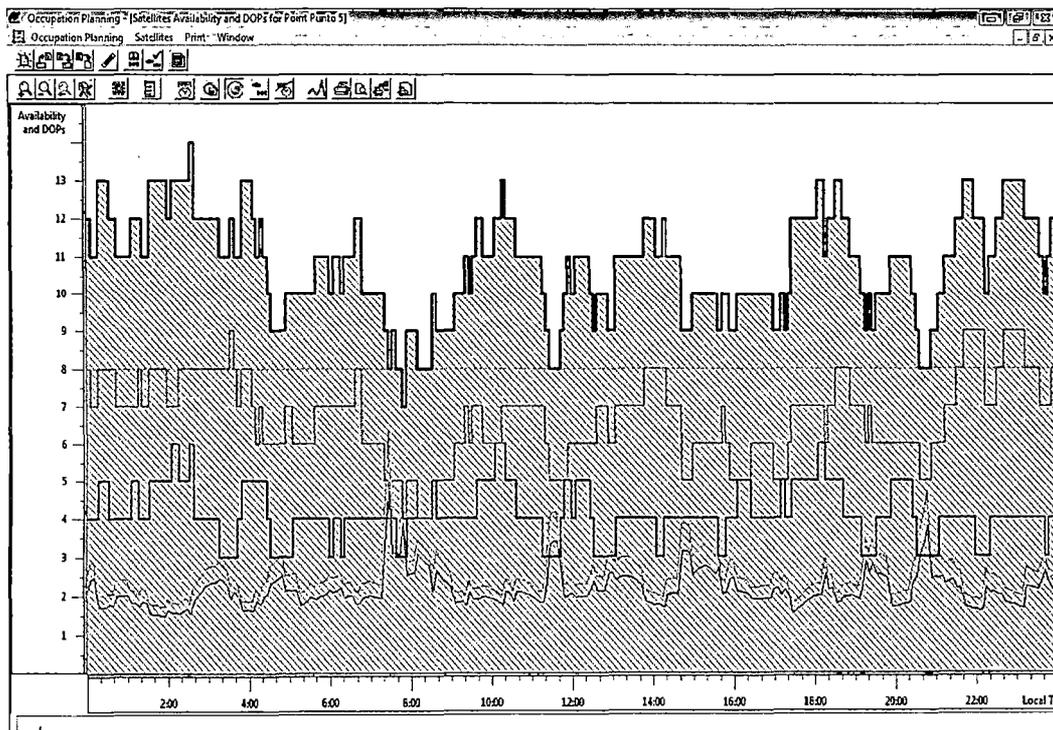


❖ Planeamiento de la observación GPS en el Punto 5

- Obstrucciones alrededor del punto 5.

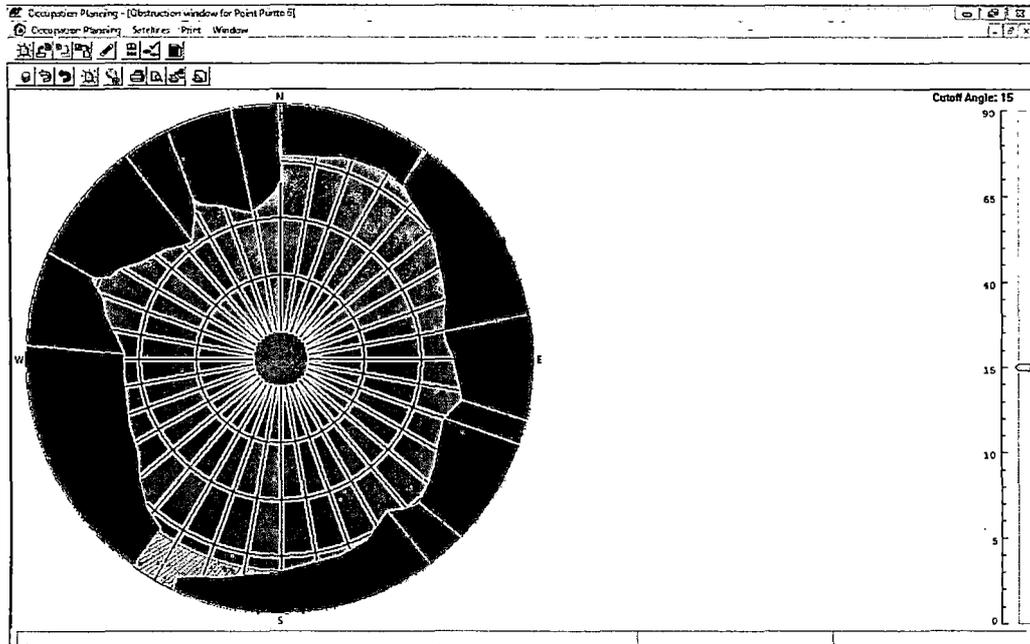


- El día proyectado (21-01-2012) para la observación en el punto 5, cumple con los requerimientos mínimos para una observación de calidad.

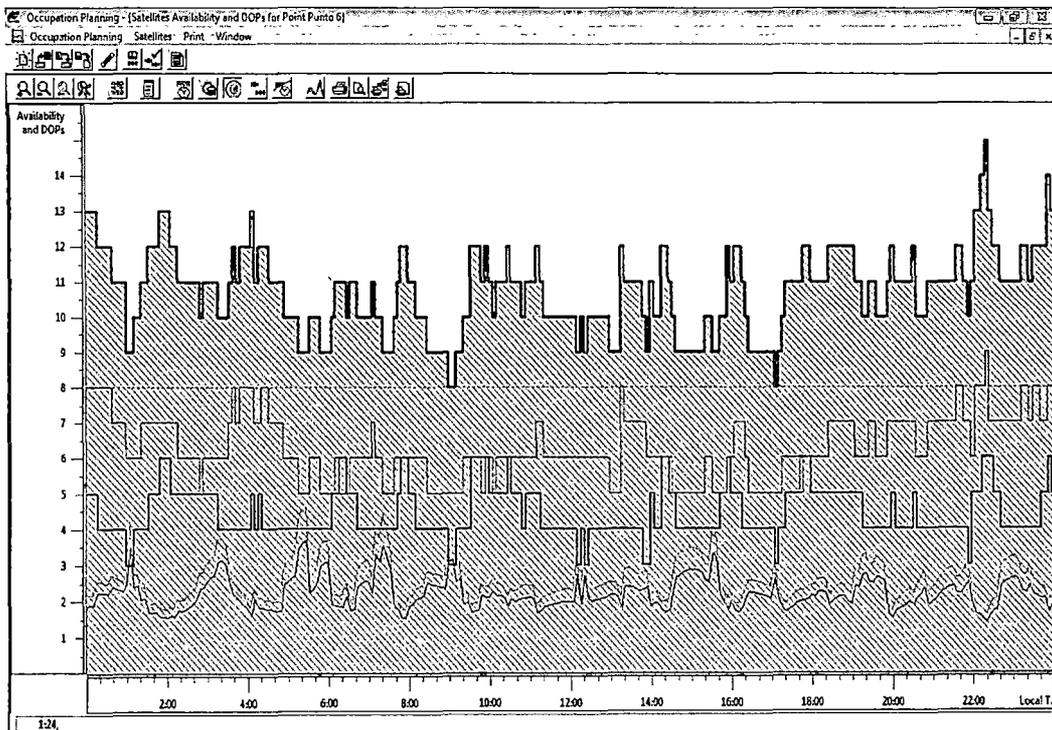


❖ Planeamiento de la observación GPS en el Punto 6

- Obstrucciones alrededor del punto 6.

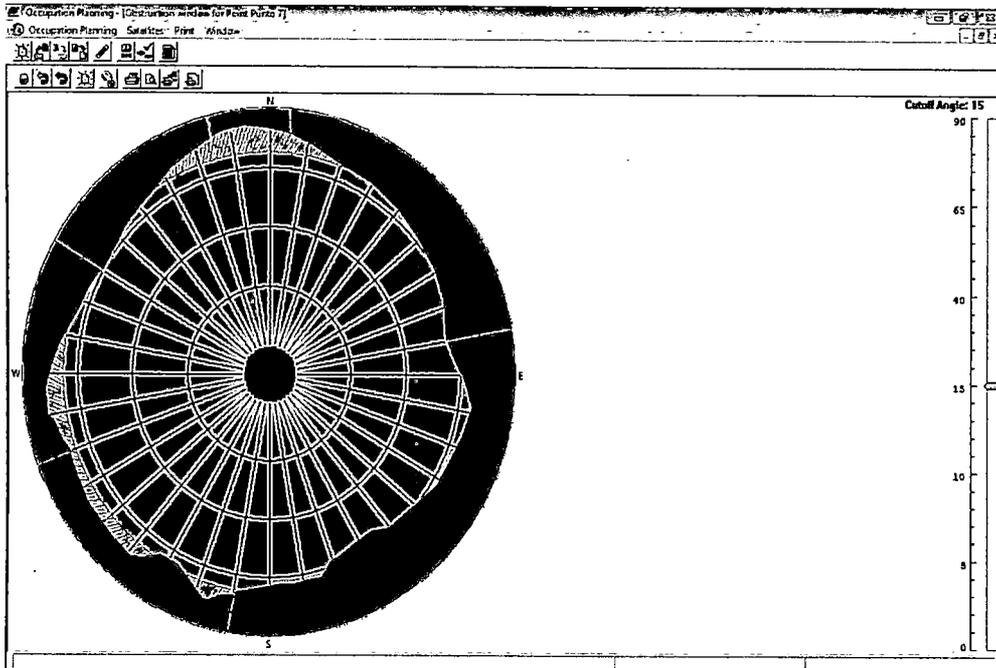


- El día proyectado (20-01-2012) para la observación en el punto 6, cumple con los requerimientos mínimos para una observación de calidad.

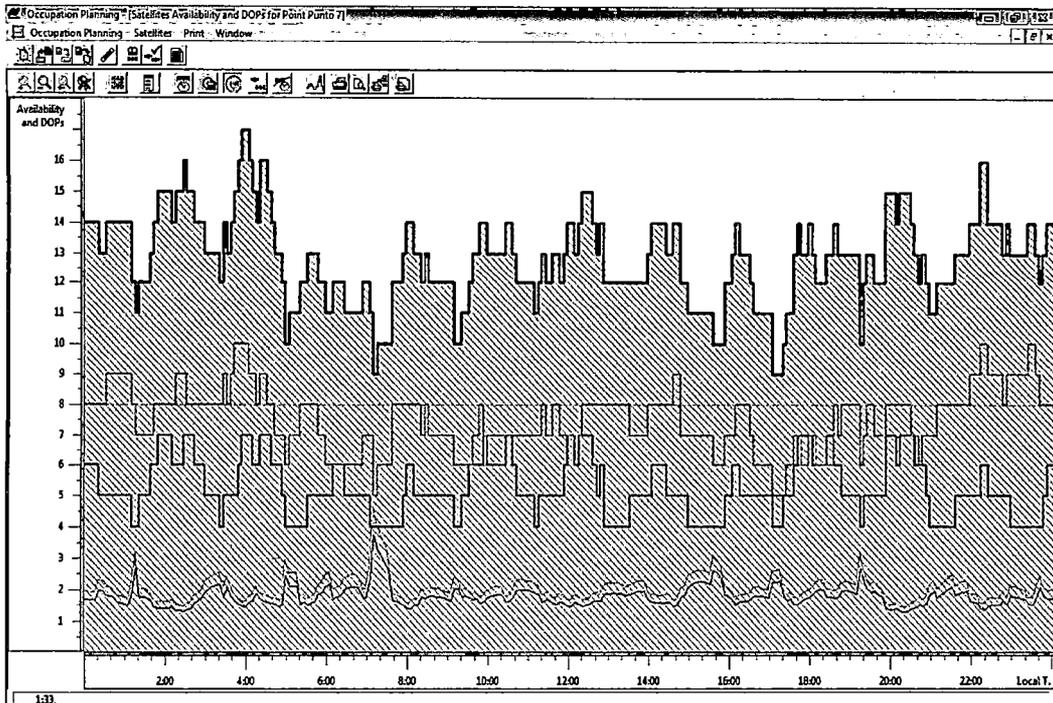


❖ Planeamiento de la observación GPS en el Punto 7

- Obstrucciones alrededor del punto 7.

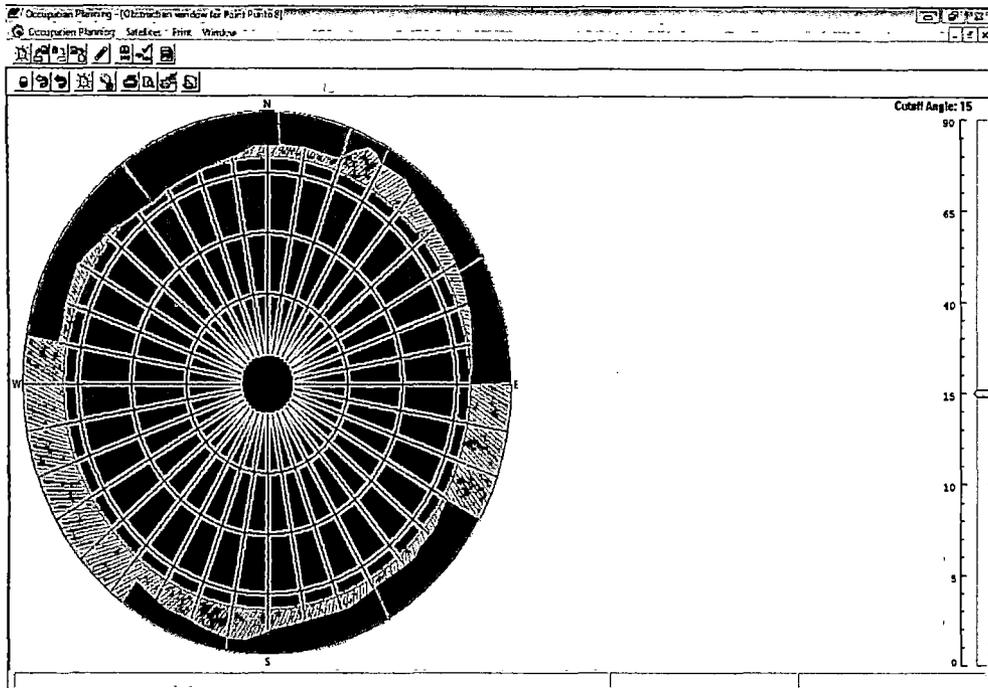


- El día proyectado (18-01-2012) para la observación en el punto 7, cumple con los requerimientos mínimos para una observación de calidad.

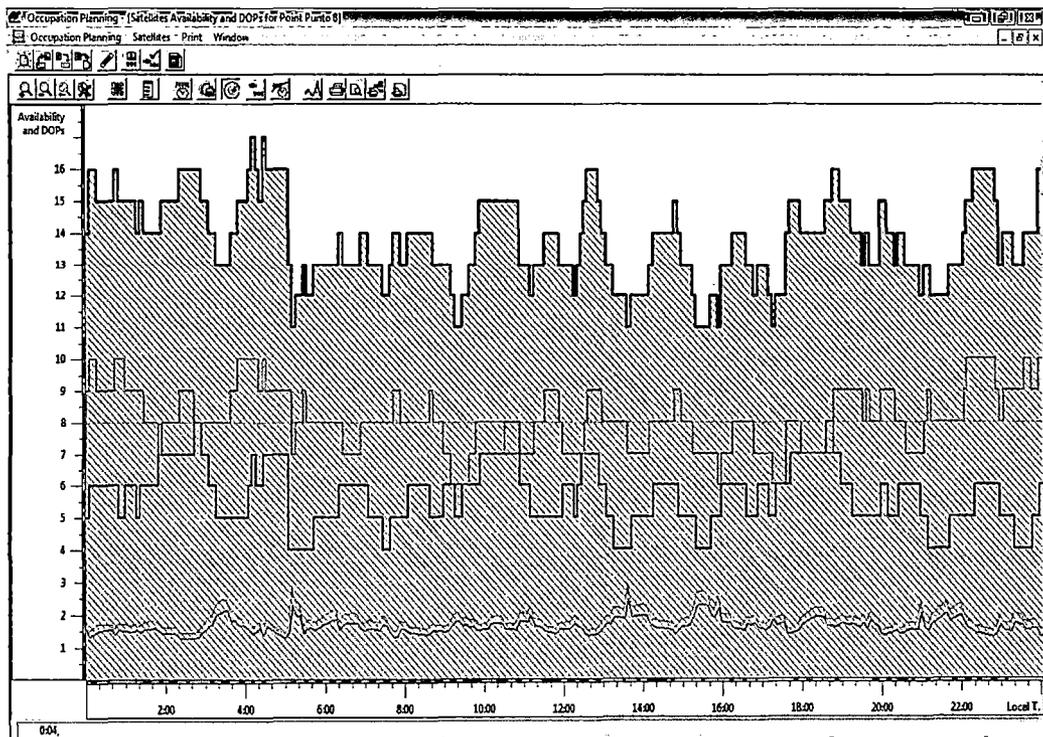


❖ Planeamiento de la observación GPS en el Punto 8

- Obstrucciones alrededor del punto 8.

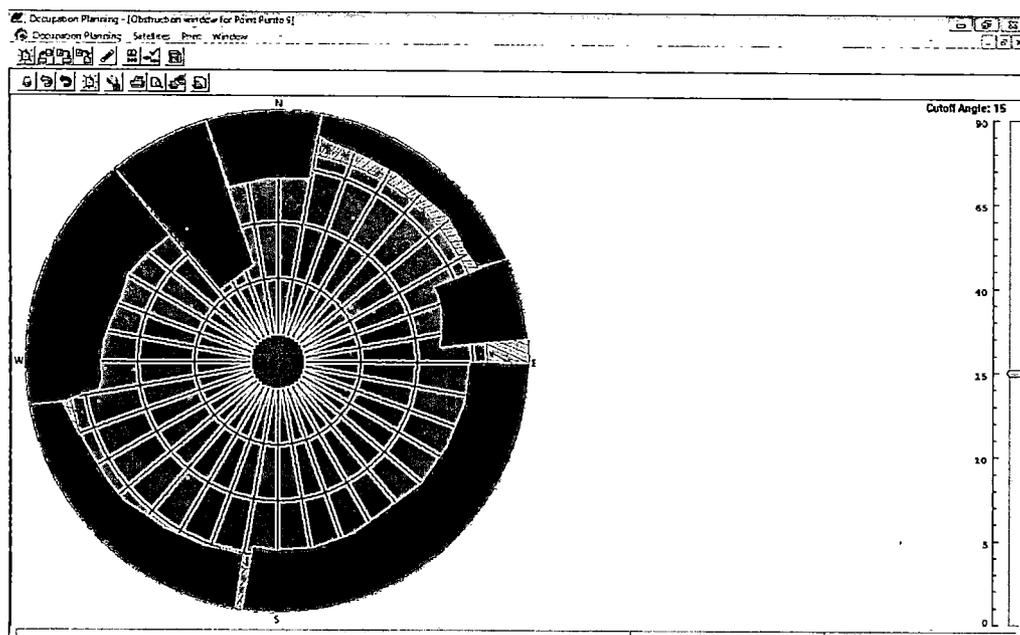


- El día proyectado (16-01-2012) para la observación en el punto 8, cumple con los requerimientos mínimos para una observación de calidad.

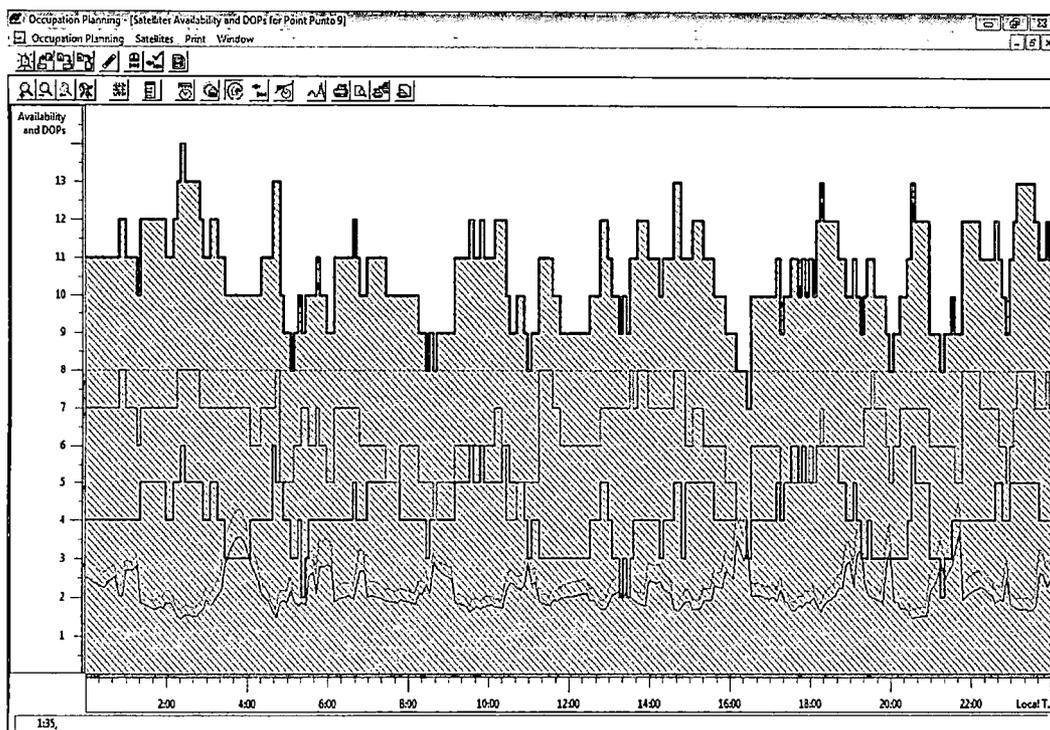


❖ Planeamiento de la observación GPS en el Punto 9

- Obstrucciones alrededor del punto 9.

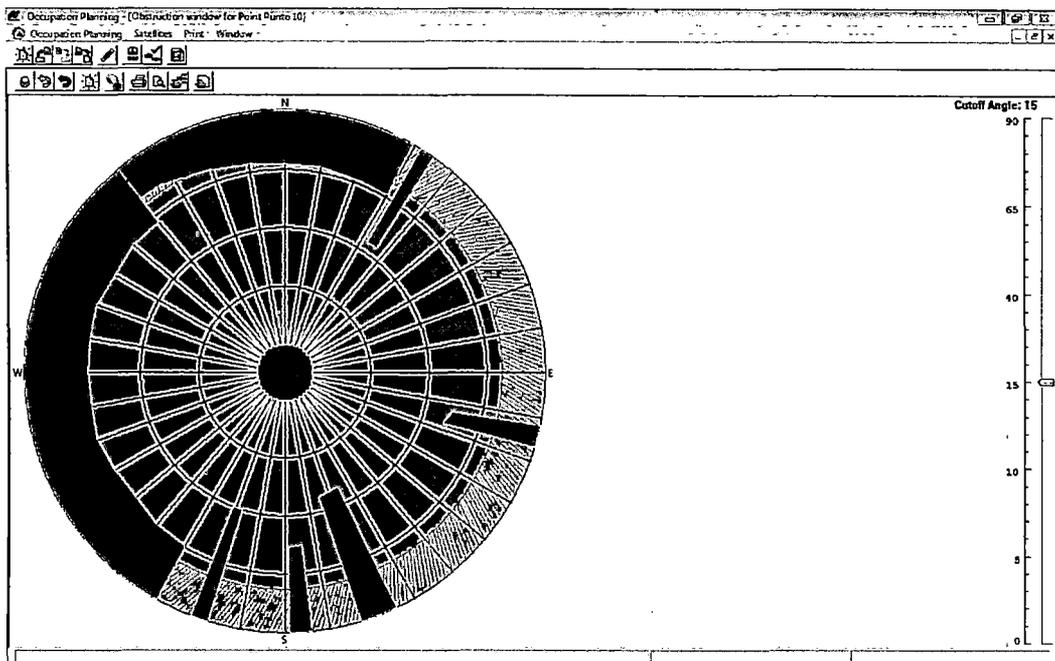


- El día proyectado (12-01-2012) para la observación en el punto 9, cumple con los requerimientos mínimos para una observación de calidad.

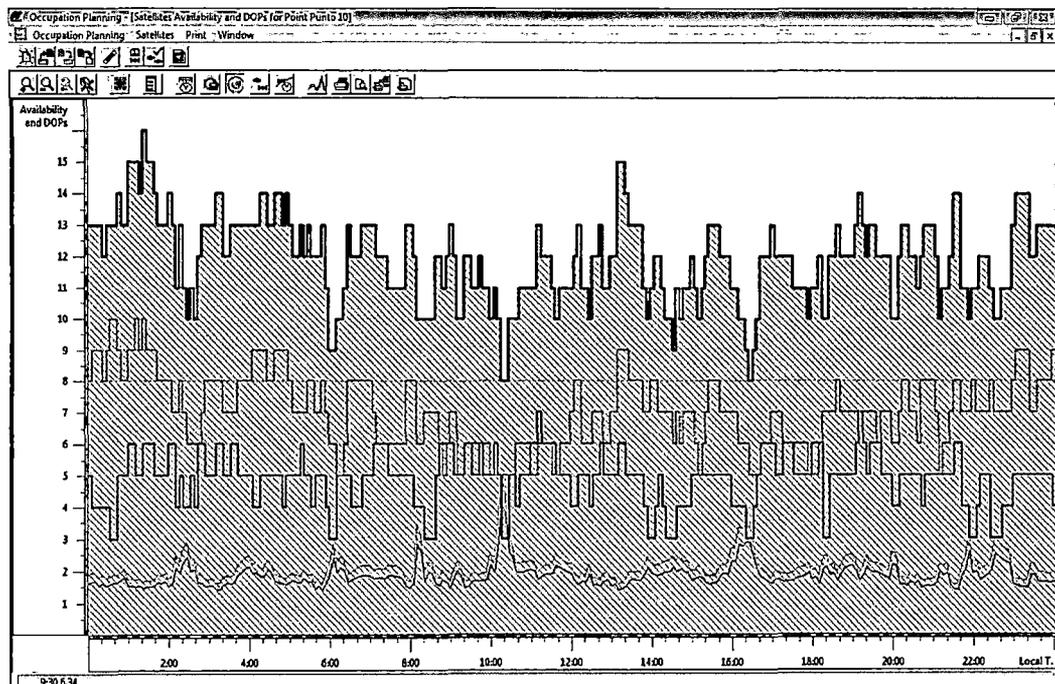


❖ Planeamiento de la observación GPS en el Punto 10

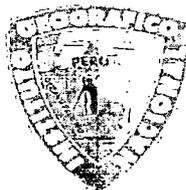
- Obstrucciones alrededor del punto 10.



- El día proyectado (08-01-2012) para la observación en el punto 10, cumple con los requerimientos mínimos para una observación de calidad.



ANEXO B: FORMULARIO DE INFORMACIÓN DE LA ESTACIÓN GPS PERMANENTE



INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL
DIRECCIÓN DE GEODESIA



FORMULARIO DE INFORMACION DE LA ESTACION GPS PERMANENTE

0. FORMULARIO

Preparado por *Instituto Geográfico Nacional - Dirección de Geodesia*
Creado *15 de Abril del 2010*
Actualizado *04 de Agosto del 2010*

1. INFORMACION DE LA ESTACION GPS

Nombre de la Estación	<i>Lima - IGN</i>
Código de Identificación	<i>Li01</i>
Código Internacional	
Inscripción del monumento	<i>Sin inscripción</i>
Institución a cargo del mantenimiento	<i>Instituto Geográfico Nacional</i>
Responsable del mantenimiento	<i>Dirección de Geodesia</i>
e-mail	<i>geodesia@ign.gob.pe</i>
Institución propietaria del instrumento	<i>Instituto Geográfico Nacional</i>
Orden de la Estación	<i>0</i>
Información adicional	<i>Esta estación forma parte de la Red Geocéntrica Nacional, a cargo del Instituto Geográfico Nacional, Dirección de Geodesia</i>

2. INFORMACION SOBRE LA LOCALIZACION

Localidad	<i>Surquillo</i>
Provincia	<i>Lima</i>
Departamento	<i>Lima</i>
Información sobre el monumento	<i>La antena del receptor esta instalada sobre un monumento de concreto de 1.34 m de alto, 30 cm x 51 cm de ancho de color rojo teja. El monumento está colocado en el techo del museo del Instituto Geográfico Nacional.</i>
Información sobre el receptor	<i>El receptor está instalado en la Sala de Servidores de la mencionada institución</i>



3. COORDEADAS DE LA ESTACION

A. Coordenadas Geodésicas

A.1. Marco de referencia utilizado:
ITRF 2000

A.2. Latitud (S)

°	min	s
12	6	10.86386

A.3. Longitud (O)

°	min	s
77	1	0.98772

A.4. Altura Elipsoidal

Altura (m)
157.6097

A.5. Factor de escala planimétrico

Factor
1.000195939

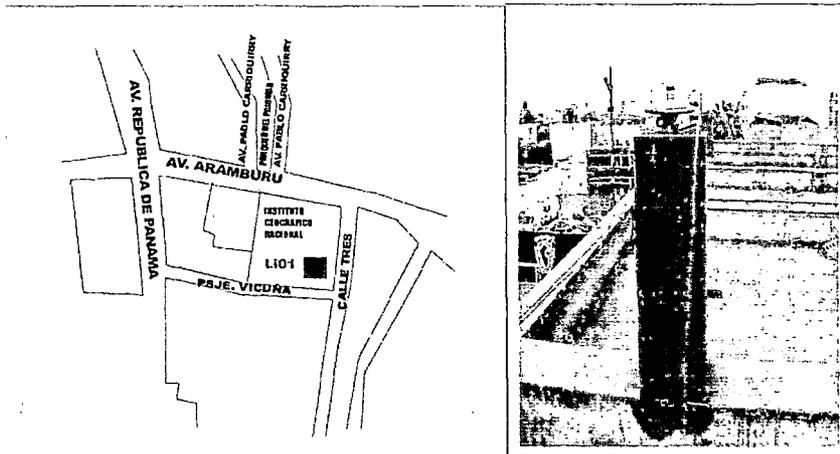
B. Coordenadas Cartesianas

X (m)	Y (m)	Z (m)
1401320.96870	-6077986.48690	-1328580.50910

C. Coordenadas UTM

Norte (m)	Este (m)	Zona
8661244.45075500	280479.72744031	18 Sur

4. CROQUIS DE LA ESTACION



5. INFORMACION SOBRE EL EQUIPAMIENTO GPS

A. Receptor

Tipo	Trimble Net R5
Nº de serie	4806K53394
Versión del Firmware	3.84
Fecha de Instalación	Junio del 2008

B. Antena
Tipo
Nº de serie
Altura (m)
Medición de la Antena
Fecha de la instalación

Antena Zephyr Geodetic 2

0.08946

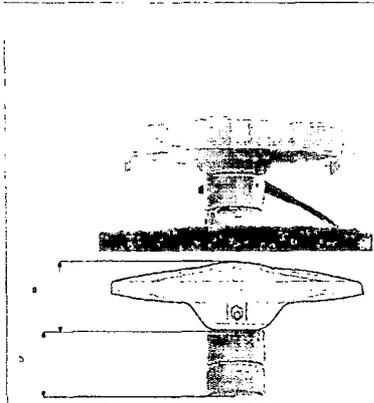
Base de soporte de la antena

Junio del 2008



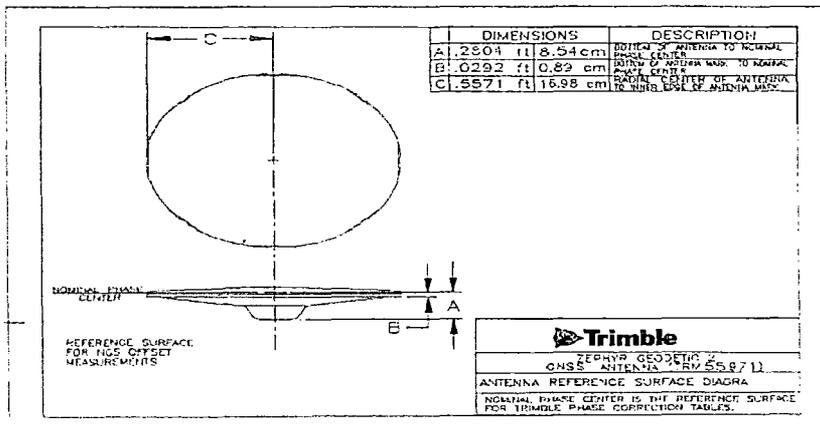
6. ESQUEMA DE LA ANTENA

A. Esquema de altura de antena



a	Distancia de compensación de centro de fase (Phase center Offset). a = 8.54 cm
b	Distancia entre la base de soporte de la antena y el límite superior del monumento. b = 0.4 cm

B. Esquema de antena en uso



7. INFORMACION COMPLEMENTARIA

Observables L1, C1, L2, P2
Intervalo de registro 5 segundos
Angulo de máscara 10°
Archivamiento diario Si
Formato de archivo en crudo *.T01, *.dat
Servidor de búsqueda



INFORMACION SOBRE EL PROCESAMIENTO

Periodo de toma de datos para el procesamiento 19 de Abril al 24 de Julio del 2010
Software utilizado Gamit/GlobK v. 10.35
Formato de archivo procesado Rinex

8. INFORMACION ADICIONAL

Contacto:

Nombre Dirección de Geodesia
Dirección Av. Aramburú 1190 Surquillo, Lima 34, Perú
Teléfono (51) 1 4753030
Fax (51) 1 4753075
e-mail geodesia@ign.gob.pe

ANEXO C: CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL RECEPTOR GPS

Hipert+

Características Físicas	
Carcasa	Fabricado en aluminio, a prueba de lluvias
Dimensiones	158.5 x 113 x 173 mm
Peso	1.72 kg
Color	Amarillo Topcon
Energía	
Batería interna	2 baterías de Litio-Ion, 3000 mAh, 7.4V
Capacidad de la batería	> 14 horas
Alimentación externa	1 puerto
Tensión de entrada	6 a 28 V DC, corriente mínima de carga ≥ 2 Amperios
Potencia consumida	Normal: 2.5 W, Máximo: 2.7 W
Cargador de batería	Adaptador AC
Tiempo de carga	7 horas
Comunicaciones	
Puerto serie-GPS	Puerto A/D, Velocidades : 460800, 230400, 115200(predeterminado), 57600, 38400,19200, 9600, 4800, 2400, 1200, 600, 300, Control de flujo: RTS/CTS, Longitud: 7, 8(predeterminado), Bits de parada: 1 (predeterminado), 2, Paridad: Ninguna (predeterminado)
Bluetooth	Versión 1.1 comp.
USB	Versión 1.1
Condiciones Ambientales	
Temperatura de funcionamiento	-30 a +60 °C
Temperatura de almacenamiento	-40 a +75 °C
Humedad	95 %
Conectores	
Puerto serie GPS	2 puerto, 7 pins ODU
Puerto externo de corriente	1 puerto,(5 pins) ODU
Conector externo de antena GPS/GNSS	Conector TNC (opcional)
Conector de antena de radio	Conector BNC o TNC
Memoria	
Memoria interna	Tarjeta Compact Flash
Capacidad	Hasta 1024 MB (opcional)
Tiempo de registro	Hasta 53 horas
Precisión	
Estático	3 mm + 1 ppm horizontal, 5 mm +1.4 ppm vertical
RTK/Cinemático	10 mm + 1.5 ppm horizontal, 15 mm + 2 ppm vertical
Seguimiento	
Señales	GPS/GLONASS, L1/L2, C/A Código P y Portadora, WAAS, EGNOS
Canales	40
Arranque en frío	< 60 segundos
Arranque en caliente	< 10 segundos
Readquisición	< 1 segundo
Teclas y LED's	
Teclas	Tres: apagado/encendido, Función (FN), Reset
LED's	Cuatro: estado de los satélites y del receptor, estado de registro de datos, estado de la batería, estado del módem

GR-3

Características Físicas

Carcasa	Protegida contra el agua
Dimensiones	A: 158 x L: 158 x H: 234.5 mm
Peso	1.78 kg
Color	Amarillo / Gris Topcon
Energía	
Batería Interna	2 Li-Ion, 3900mAh, 7.2V
Tiempo Operativo	14 horas
Alimentación Externa	1 puerto
Cargador de baterías	Doble cargador inteligente Li-Ion (opcional baterías alcalinas). Cargador doble con alimentación externa.
Comunicaciones	
Bluetooth	Bluetooth estándar 1.2
USB	Versión 1.1
Condiciones Ambientales	
Temperatura de Trabajo	-20 a +50 °C
Temperatura de Almacenamiento	-20 a +35°C con baterías, -40 a +75°C sin baterías
IP	IP66
Caída	2 m
Conectores	
Puertos Alimentación Externa	1 puerto(s), DC Jack Type A ODU
Conector Antena Externa	Conector modem tnc/bnc
Puerto Tarjeta SD	1 puerto, Memoria I/O
Puerto Serie	1 puerto, RS232 ODU
Memoria	
Memoria Interna	Protegida, puerto accesible SD™
Capacidad	1024 Mb
Precisión	
Estático	3 mm + 0.5 ppm horizontal, 5 mm + 0.5 ppm vertical
RTK/Cinemático	10 mm + 1 ppm horizontal, 15 mm + 1 ppm vertical
DGPS	menos de 0.25 m post-proceso, menos de 0.25 m basado en DGPS/RTCM
Seguimiento	
Señal	GPS/GLONASS, L1/L2/C/A, L5, Galileo, Código P y Portadora, Galileo, E 1/2/5a y L1, WAAS/EGNOS
Canales	72
Arranque en frío	< 30 seg
Arranque en caliente	< 5 seg
Readquisición	< 1 seg
Teclas y LEDs	
Teclas	Dos: apagado/encendido, función (FUNCTION) Seis: estado receptor, estado de registro de datos, estado del módem, estado del Bluetooth y 2 para indicador de carga de batería
LED	

ANEXO D: REPORTES DE POSICIONAMIENTO VÍA WEB

❖ OPUS - Punto 1

FILE: Davi338s.110 OP1329000793947

NGS OPUS SOLUTION REPORT

=====

All computed coordinate accuracies are listed as peak-to-peak values.
For additional information: <http://www.ngs.noaa.gov/OPUS/about.html#accuracy>

USER: davidcondorgarcia@yahoo.com
RINEX FILE: davi338s.11o

DATE: February 11, 2012
TIME: 22:56:24 UTC

SOFTWARE: page5 1108.09 master.pl 0607113
EPHEMERIS: igs16650.eph [precise]
NAV FILE: brdc3380.11n
ANT NAME: TPSHIPER_PLUS NONE
ARP HEIGHT: 1.4675

START: 2011/12/04 18:11:00
STOP: 2011/12/04 21:11:00
OBS USED: 4701 / 5062 : 93%
FIXED AMB: 17 / 28 : 61%
OVERALL RMS: ±0.015(m)

REF FRAME: ITRF00 (EPOCH:2011.9255)

X: 1399735.264(m) ± 0.009(m)
Y: -6078241.544(m) ± 0.132(m)
Z: -1329030.763(m) ± 0.101(m)

LAT: -12° 6' 25.92394" ± 0.081(m)
E LON: 282° 58' 6.01953" ± 0.028(m)
W LON: 77° 1' 53.98047" ± 0.028(m)
EL HGT: 146.915(m) ± 0.147(m)

UTM COORDINATES

UTM (Zone 18)
Northing (Y) [meters] 8660769.715
Easting (X) [meters] 278880.434
Convergence [degrees] 0.42629771
Point Scale 1.00020495
Combined Factor 0.00000000

BASE STATIONS USED

PID	DESIGNATION	LATITUDE	LONGITUDE	DISTANCE(m)
UNSA				1851294.0
DL6414	SANO SAN ANDREAS CO	CORS ARP		2756657.1
BOGT				1874116.0

This position and the above vector components were computed without any knowledge by the National Geodetic Survey regarding the equipment or field operating procedures used.

❖ **AUSPOS - Punto 1**



AUSPOS GPS Processing Report

February 24, 2012

This document is a report of the GPS data processing undertaken by the AUSPOS Online GPS Processing Service (version: AUSPOS 2.0) . The AUSPOS Online GPS Processing Service uses International GNSS Service (IGS) products (final, rapid, ultra-rapid depending on availability) to compute precise coordinates in ITRF anywhere on Earth and GDA94 within Australia. The Service is designed to process only dual frequency GPS phase data.

An overview of the GPS processing strategy is included in this report.

Please direct any correspondence to geodesy@ga.gov.au

National Geospatial Reference Systems
Geoscience Australia
Cnr Jerrabomberra and Hindmarsh Drive
GPO Box 378, Canberra, ACT 2601, Australia
Freecall (Within Australia): 1800 800 173
Tel: +61 2 6249 9111. Fax +61 2 6249 9929
Geoscience Australia
Home Page: <http://www.ga.gov.au>



1 User Data

All antenna heights refer to the vertical distance from the Ground Mark to the Antenna Reference Point (ARP).

Station (s)	Submitted File	Antenna Type	Antenna Height (m)	Start Time	End Time
DAVI	Davi338s.110	TPSHIPER_PLUS NONE	1.468	2011/12/04 18:11:30	2011/12/04 21:11:00

2 Processing Summary



Date	User Stations	Reference Stations	Orbit Type
2011/12/04 18:11:30	DAVI	BOGT BRAZ CRO1 GUAT ISPA LPGS HANA UNSA	IGS final



3 Computed Coordinates, ITRF2008

All computed coordinates are based on the IGS realisation of the ITRF2008 reference frame. All the given ITRF2008 coordinates refer to a mean epoch of the site observation data. All coordinates refer to the Ground Mark.

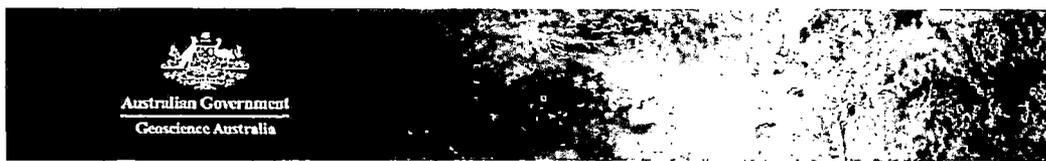
3.1 Cartesian, ITRF2008

Station	X (m)	Y (m)	Z (m)	ITRF2008 @
DAVI	1399735.316	-6078241.502	-1329030.730	04/12/2011
BOGT	1744398.949	-6116037.196	512731.806	04/12/2011
BRAZ	4115014.083	-4550641.593	-1741443.872	04/12/2011
CRO1	2607771.277	-5488076.616	1932767.875	04/12/2011
GUAT	-56063.544	-6174978.788	1596665.319	04/12/2011
ISPA	-1881703.217	-5359979.863	-2890599.277	04/12/2011
LPGS	2780103.006	-4437418.977	-3629404.455	04/12/2011
MANA	407981.884	-6222925.639	1333529.011	04/12/2011
UNSA	2412830.459	-5271936.752	-2652208.961	04/12/2011

3.2 Geodetic, GRS80 Ellipsoid, ITRF2008

Geoid-ellipsoidal separations, in this section, are computed using a spherical harmonic synthesis of the global EGM2008 geoid. More information on the EGM2008 geoid can be found at <http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/>

Station	Latitude (DMS)	Longitude (DMS)	Ellipsoidal Height(m)	Derived Above Geoid Height(m)
DAVI	-12 06 25.92308	-77 01 53.97849	146.879	123.471
BOGT	4 38 24.26583	-74 04 51.38200	2576.411	2553.550
BRAZ	-15 56 50.90635	-47 52 40.32936	1106.010	1118.600
CRO1	17 45 24.83671	-64 35 03.54817	-31.971	11.708
GUAT	14 35 25.45550	-90 31 12.65717	1520.000	1517.440
ISPA	-27 07 29.93931	-109 20 39.86489	112.494	116.319
LPGS	-34 54 24.28050	-57 55 56.27916	29.878	13.941
MANA	12 08 56.18015	-86 14 56.37651	70.982	66.374
UNSA	-24 43 38.84066	-65 24 27.51558	1257.796	1224.384



4 Solution Information

4.1 Coordinate Precision - Geodetic, One Sigma

Station	σ East (m)	σ North (m)	σ Up (m)
DAVI	0.016	0.005	0.012
BOGT	0.001	0.001	0.002
BRAZ	0.001	0.001	0.002
CRO1	0.001	0.001	0.003
GUAT	0.001	0.001	0.002
ISPA	0.001	0.001	0.003
LPGS	0.001	0.001	0.003
MANA	0.001	0.001	0.002
UNSA	0.001	0.001	0.002

4.2 Ambiguity Resolution - per baseline

Baseline	Ambiguities Resolved	Baseline Length (km)
LPGS - UNSA	63.5 %	1336.5
BRAZ - UNSA	40.8 %	2060.9
BOGT - BRAZ	41.0 %	3626.5
BOGT - GUAT	63.4 %	2102.4
DAVI - GUAT	0.0 %	3269.3
DAVI - UNSA	0.0 %	1851.3
GUAT - ISPA	0.0 %	4912.5
GUAT - MANA	59.6 %	535.6
BOGT - CRO1	60.0 %	1776.6
ISPA - LPGS	83.3 %	4809.3
AVERAGE	46.8%	2628.1

Please note for a regional solution, such as used by AUSPOS, an average ambiguity resolution of 50% or better for the network indicates a reliable solution.

***WARNING:**

This solution has not resolved any ambiguities for your submitted data. Please use this solution with caution.



5 Computation Standards

5.1 Computation System

Software	Bernese GPS Software Version 5.0.
GNSS system(s)	GPS only.

5.2 Data Preprocessing and Measurement Modelling

Data preprocessing	Phase preprocessing is undertaken in a baseline by baseline mode using triple-differences. In most cases, cycle slips are fixed by the simultaneous analysis of different linear combinations of L1 and L2. If a cycle slip cannot be fixed reliably, bad data points are removed or new ambiguities are set up. A data screening step on the basis of weighted postfit residuals is also performed, and outliers are removed.
Basic observable	Carrier phase with an elevation angle cutoff of 10° and a sampling rate of 3 minutes. However, data cleaning is performed a sampling rate of 30 seconds. Elevation dependent weighting is applied according to $1/\sin(e)^2$ where e is the satellite elevation. The code observable is only used for the receiver clock synchronisation.
Modelled observable	Double differences of the ionosphere-free linear combination.
Ground antenna phase centre calibrations	IGS08 absolute phase-centre variation model is applied.
Tropospheric Model	A priori model is the Saastamoinen-based hydrostatic mapped with the dry-Niell.
Tropospheric Estimation	Zenith delay corrections are estimated relying on the wet-Niell mapping function in intervals of 2 hour. N-S and E-W horizontal delay parameters are solved for every 24 hours.
Tropospheric Mapping Function	Niell
Ionosphere	First-order effect eliminated by forming the ionosphere-free linear combination of L1 and L2.
Tidal displacements	Solid earth tidal displacements are derived from the complete model from the IERS Conventions 2003, but ocean tide loading is not applied.
Atmospheric loading	Not applied
Satellite centre of mass correction	IGS08 phase-centre variation model applied
Satellite phase centre calibration	IGS08 phase-centre variation model applied
Satellite trajectories	Best available IGS products.
Earth Orientation	Best available IGS products.



5.3 Estimation Process

Adjustment	Weighted least-squares algorithm.
Station coordinates	Coordinate constraints are applied at the Reference sites with standard deviation of 1mm and 2mm for horizontal and vertical components respectively.
Troposphere	Zenith delay parameters and pairs of horizontal delay gradient parameters are estimated for each station in intervals of 2 hour and 24 hours.
Ionospheric correction	An ionospheric map derived from the contributing reference stations is used to aid ambiguity resolution using the QIF strategy
Ambiguity	Ambiguities are resolved in a baseline-by-baseline mode using Quasi-Ionosphere-Free (QIF) approach.

5.4 Reference Frame

Terrestrial reference frame	IGS08 station coordinates and velocities mapped to the mean epoch of observation.
Australian datum	GDA94 coordinates determined via Helmert transformation from ITRF using the Dawson and Woods (2010) parameters.
Derived AHD	For stations within Australia, AUSGeoid09 is used to compute AHD. AUSGeoid09 is the Australia-wide gravimetric quasigeoid model that has been a posteriori fitted to the Australian Height Datum
Above-geoid heights	Earth Gravitational Model EGM2008 released by the National Geospatial-Intelligence Agency (NGA) EGM Development Team is used to compute above-geoid heights. This gravitational model is complete to spherical harmonic degree and order 2159, and contains additional coefficients extending to degree 2190 and order 2159.

❖ CSRS-PPP - Punto 1



CSRS-PPP (V 1.05 05211)



David1204i_ZDA8

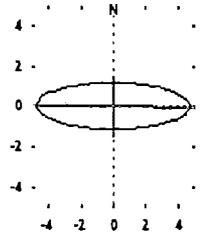
Data Start	Data End	Duration of Observations
2011-12-04 18:11:30.000	2011-12-04 21:11:20.000	2h 59m 50.00s
Apri / Aposteriori Phase Std		Apri / Aposteriori Code Std
0.015m / 0.009m		2.0m / 1.080m
Observations	Frequency	Mode
Phase and Code	L1 and L2	Static
Elevation Cut-Off	Rejected Epochs	Observation & Estimation Steps
10.000 degrees	0.00 %	10.00 sec / 10.00 sec
Antenna Model	APC to ARP	ARP to Marker
-Unknown-	Ant. not in PPP (0 m)	0.000 m

(APC = antenna phase center; ARP = antenna reference point)

Estimated Position for Davi338s.110

	Latitude (+n)	Longitude (+e)	Ell. Height
ITRF08 (2011)	-12° 06' 25.9232"	-77° 01' 53.9794"	148.472 m
Sigmas(95%)	0.009 m	0.038 m	0.052 m
Apriori	-12° 06' 25.922"	-77° 01' 53.971"	149.769 m
Estimated - Apriori	-0.038 m	-0.251 m	-1.297 m

95% Error Ellipse (cm)
 semi-major: 4.746cm
 semi-minor: 1.161cm
 semi-major azimuth: 90° 4' 44.59"



UTM (South) Zone 18

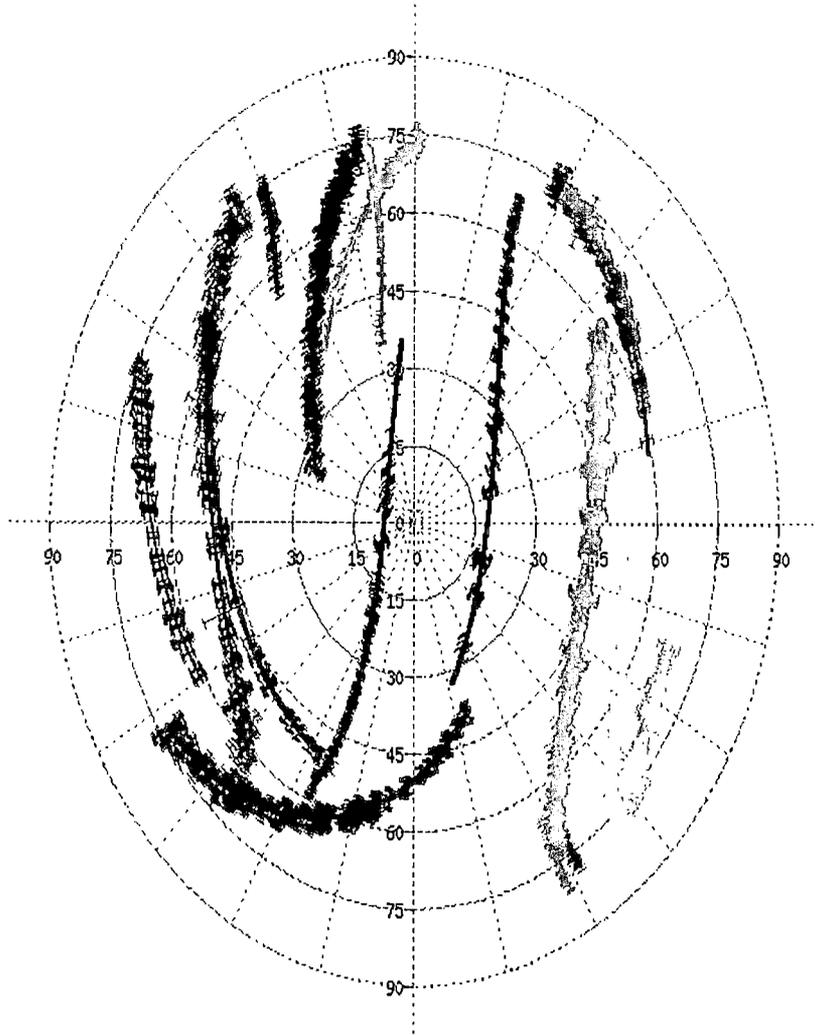
8660769.738m (N) 278880.467m (E)

Scale Factors
 1.00020495 (point)
 1.00018164 (combined)

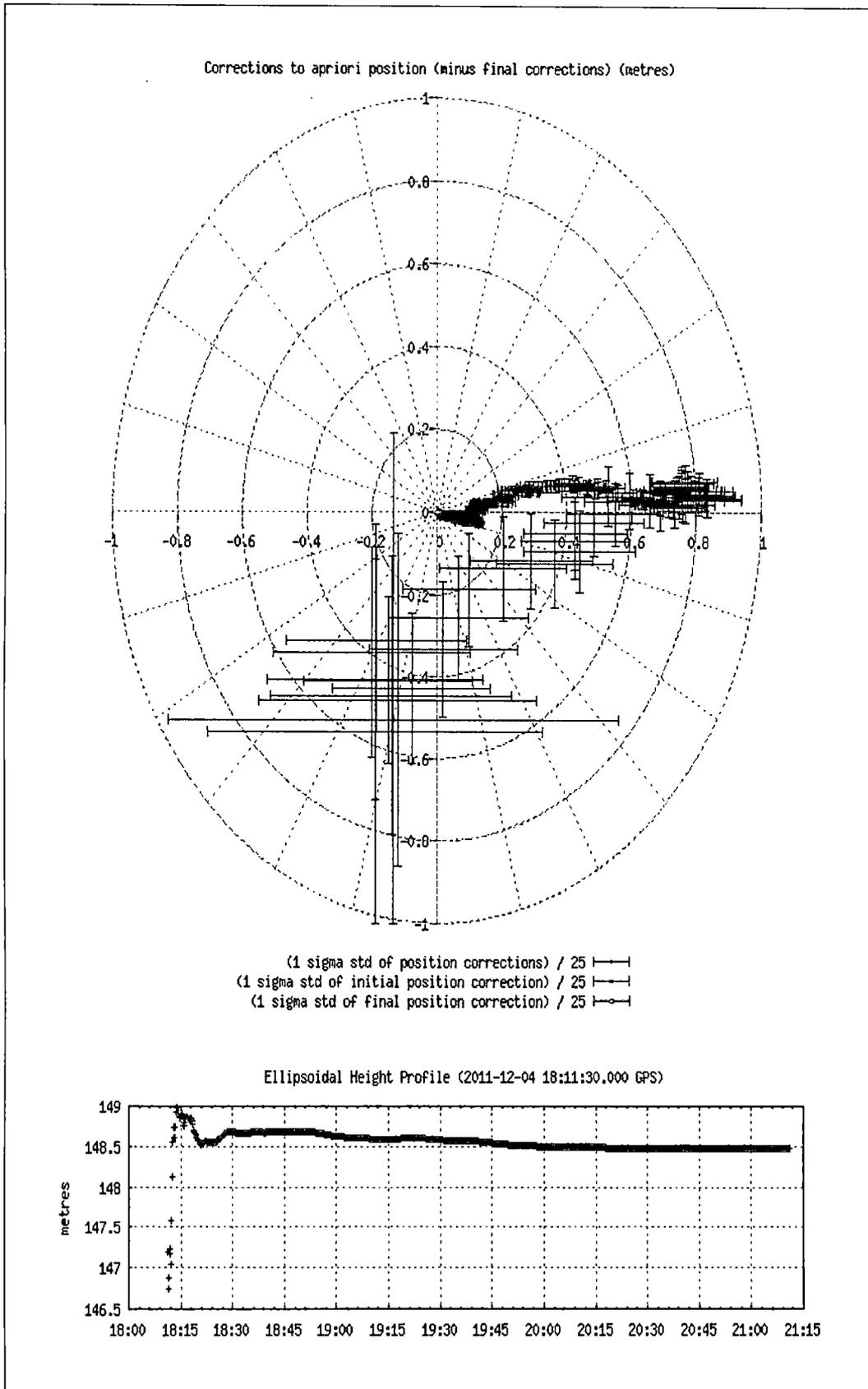
(Coordinates from RINEX file used as apriori position)

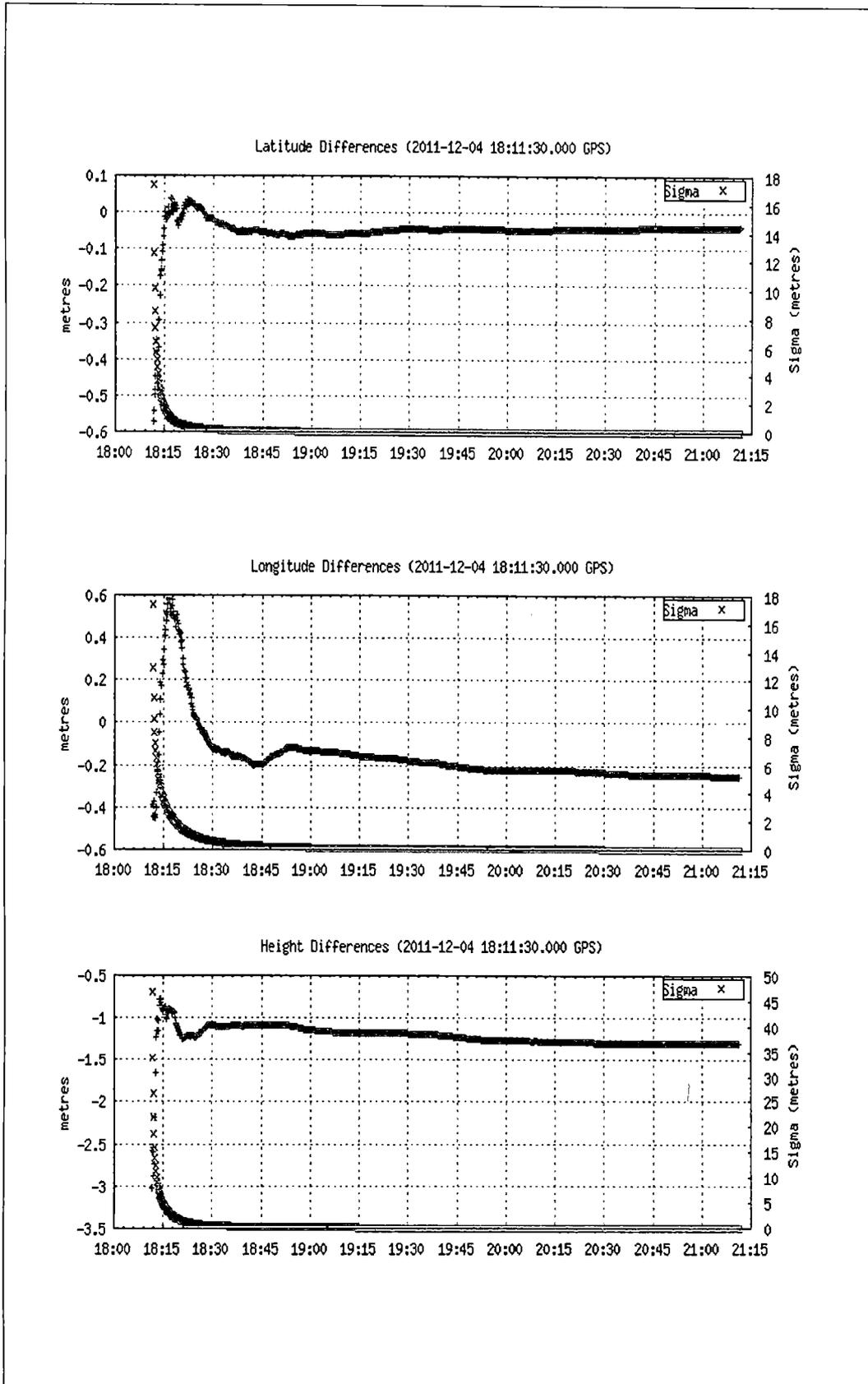
Estimated Parameters & Observations Statistics

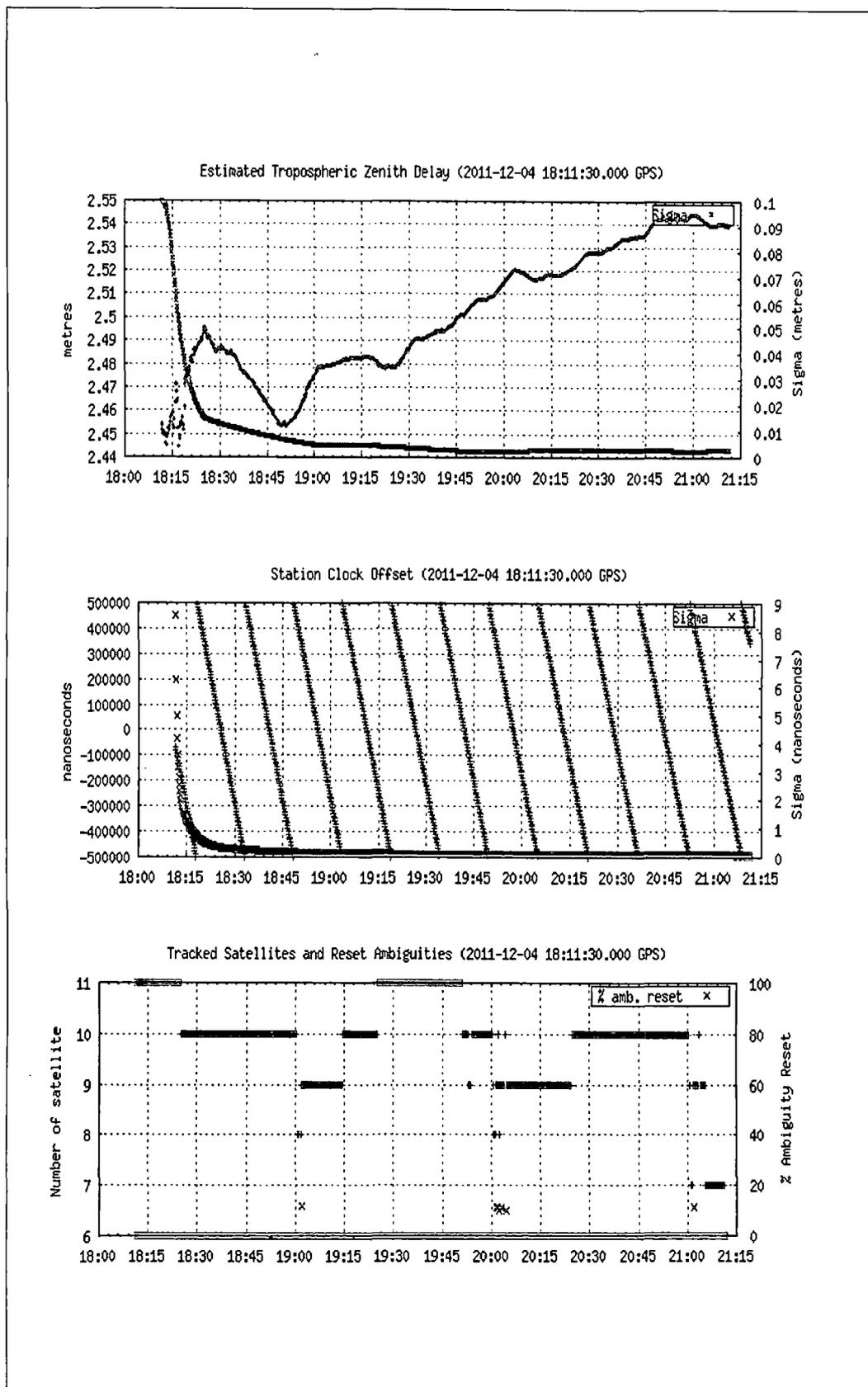
Pseudo-Range Residuals Sky Distribution

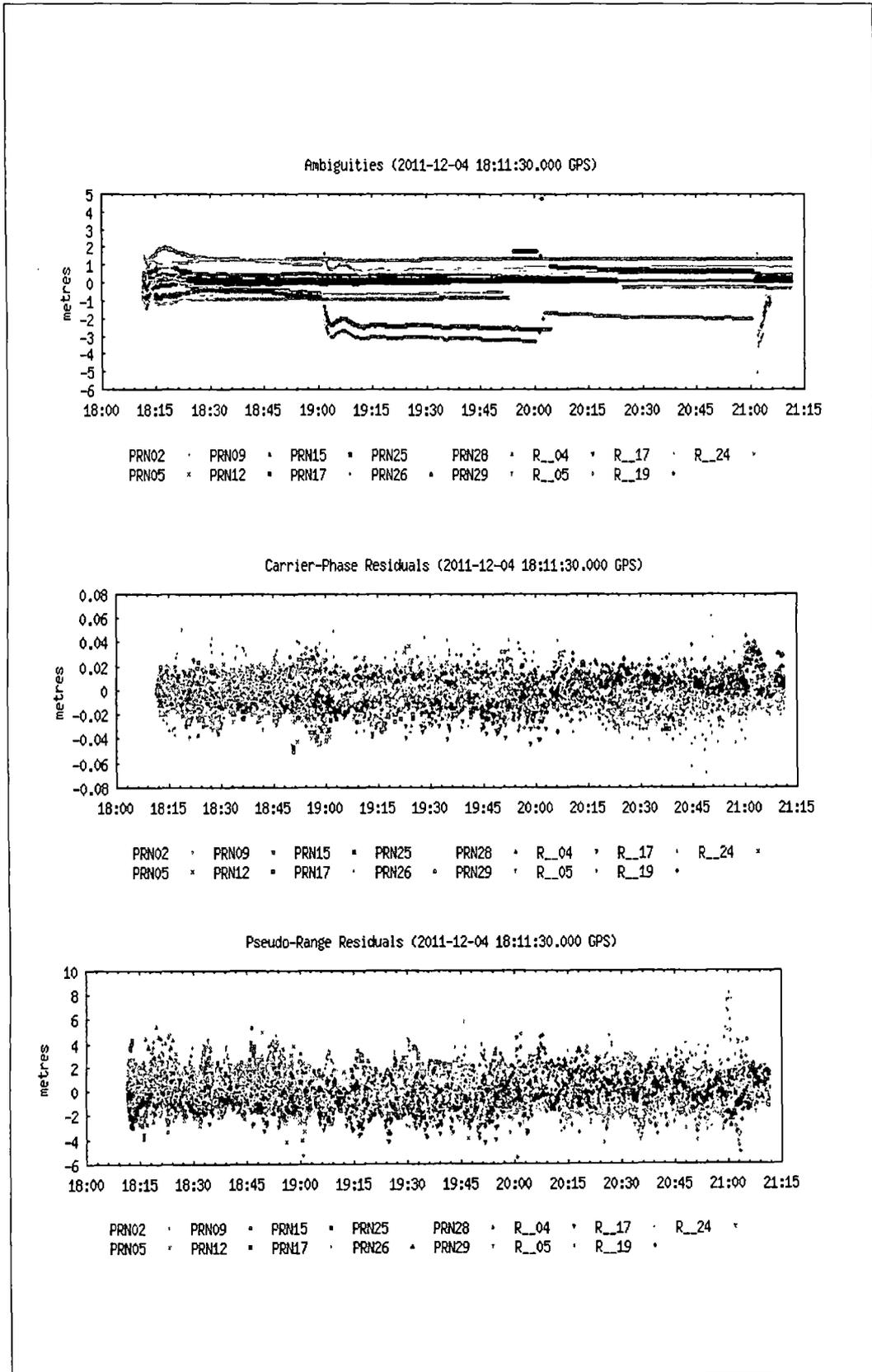


PRN02 |---| PRN09 |---| PRN15 |---| PRN25 |---| PRN28 |---| R_04 |---| R_17 |---| R_24 |---|
PRN05 |---| PRN12 |---| PRN17 |---| PRN26 |---| PRN29 |---| R_05 |---| R_19 |---|









~ Disclaimer ~

Natural Resources Canada does not assume any liability deemed to have been caused directly or indirectly by any content of its PPP-On-Line positioning service.

If you have any questions, please feel free to contact:

**Geodetic Survey Division
Canada Centre for Remote Sensing
Natural Resources Canada
Government of Canada
615 Booth Street, Room 440
Ottawa, Ontario K1A 0E9
Phone: 613-995-4410 FAX: 613-995-3215
EMail: information@geod.nrcan.gc.ca**



Natural Resources
Canada

Ressources naturelles
Canada

Canada

❖ IBGE-PPP - Punto 1

IBGE Relatório do Posicionamento por Ponto Preciso (PPP)**Sumário do Processamento do marco: David1204i_ZDA8**

Início (AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS):	2011/12/04 18:11:30,00
Fim (AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS):	2011/12/04 21:11:20,00
Modo de Operação do Usuário:	ESTÁTICO
Observação processada:	CÓDIGO & FASE
Modelo da Antena:	TPSHIPER_PLUS NONE
Órbitas dos satélites (IGS)¹:	PRECISA
Frequência processada:	L3
Intervalo do processamento (s):	10,00
Sigma² da pseudodistância (m):	2,000
Sigma da portadora (m):	0,015
Altura da Antena³ (m):	1,468
Ângulo de Elevação (graus):	10,000
Resíduos da pseudodistância (m):	0,89
Resíduos da fase da portadora(cm):	1,10

Posição Estimada no Sistema de Referência SIRGAS:

	Latitude	Longitude	Altitude Geométrica (m):
Coordenada Oficial⁴ em 2000.4:	-12° 06' 25.9270"	-77° 01' 53.9847"	146,87
Coordenada na data do levantamento⁵:	-12° 06' 25,9231"	-77° 01' 53,9787"	146,87
Sigma⁶ (m):	0,007	0,023	0,036

Modelo Geoidal: MAPGEO2010

Ondulação Geoidal (m):

Altitude Ortométrica (m):

Precisão esperada para um levantamento estático em metros:

Tipo de Receptor	Uma frequência		Duas frequências	
	Planimétrico	Altimétrico	Planimétrico	Altimétrico
Após 3 horas	0,40	0,70	0,05	0,06
Após 6 horas	0,20	0,40	0,02	0,04
Após 24 horas	0,10	0,30	0,01	0,02

¹ Órbitas obtidas do International GNSS Service (IGS).² O termo "Sigma" é referente ao Desvio Padrão.³ Distância do Marco ao Plano de Referência da Antena (PRA).⁴ A coordenada oficial é a data de referência do Sistema SIRGAS, ou seja, 2000.4. A redução de velocidade foi feita da data do levantamento para 2000.4, utilizando o modelo VEMOS.⁵ A data de levantamento considerada é a data de Início da sessão.⁶ O "Sigma" representa a confiabilidade interna do processamento e não a exatidão da coordenada.

Os resultados apresentados neste relatório dependem da qualidade dos dados enviados e do correto preenchimento das informações por parte do usuário. Em caso de dúvidas, críticas ou sugestões contate: ibge@ibge.gov.br ou pelo telefone 0800-7218181.
Arquivo gerado davidcondorgarcia@yahoo.com_Davi338s.11O_20120224051420.zip

Este serviço de posicionamento faz uso do aplicativo de processamento CSRS-PPP desenvolvido pelo Geodetic Survey Division of Natural Resources of Canada (NRCan)

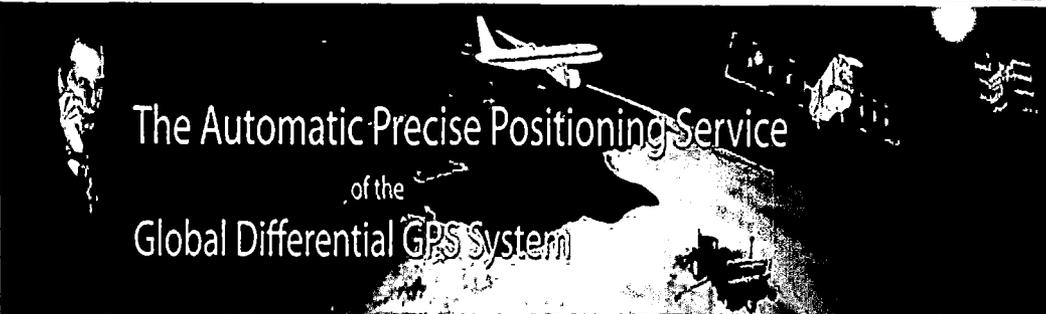
❖ APPS - Punto 1



Jet Propulsion Laboratory
California Institute of Technology

➔ Ver el portal de la NASA

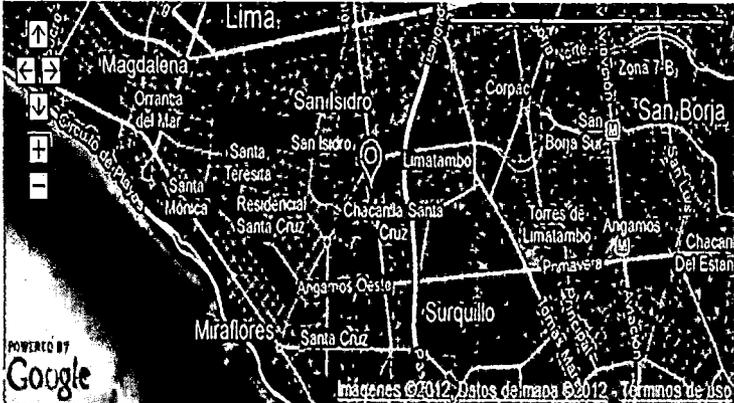
JPL HOME
EARTH
SOLAR SYSTEM
STARS & GALAXIES
TECHNOLOGY



The Automatic Precise Positioning Service
of the
Global Differential GPS System

Davi338s.110

Latitud: -12.10720124 Lon: -77.03166124 Altura: 148.4464 (m)



POWERED BY Google

Imágenes ©2012, Datos de mapa ©2012, Términos de uso

APPS Resultados	
2011-12-04.DAVI.sum.Z	README
2011-12-04.DAVI.gd.Z	README
2011-12-04.DAVI.ninialog.Z	README
2011-12-04.DAVI.pts.Z	README
2011-12-04.DAVI.stacov.Z	README
2011-12-04.DAVI.tdp.Z	README
DAVI.2011-12-04.lgz	

Ejecutar aplicaciones de nuevo!



Your First Click to the U.S. Government

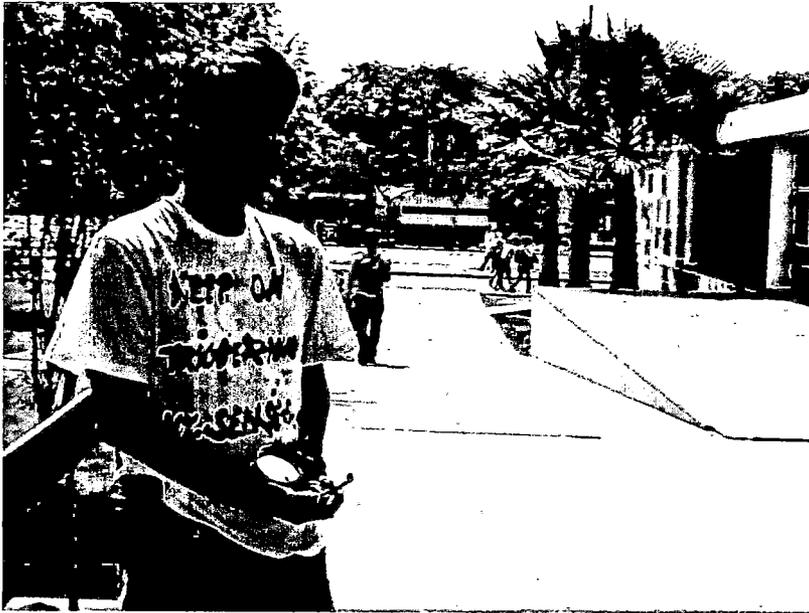
➔ [Política de Privacidad](#)



Contacto: info@gdgps.net
 Página Creada: 11 Feb 2012 11 de febrero 2012
 Liquidación JPL: CL 08-3321

ANEXO E: PANEL FOTOGRÁFICO

❖ Planeamiento de las observaciones GPS



Fotografía D. 1. Levantamiento de las obstrucciones con brújula.



Fotografía D. 2. Levantamiento de las obstrucciones con eclímetro.

❖ Puesta en estación del GPS



Fotografía D. 3. Nivelación de la plataforma (tribaquio) y ajuste de los tornillos.

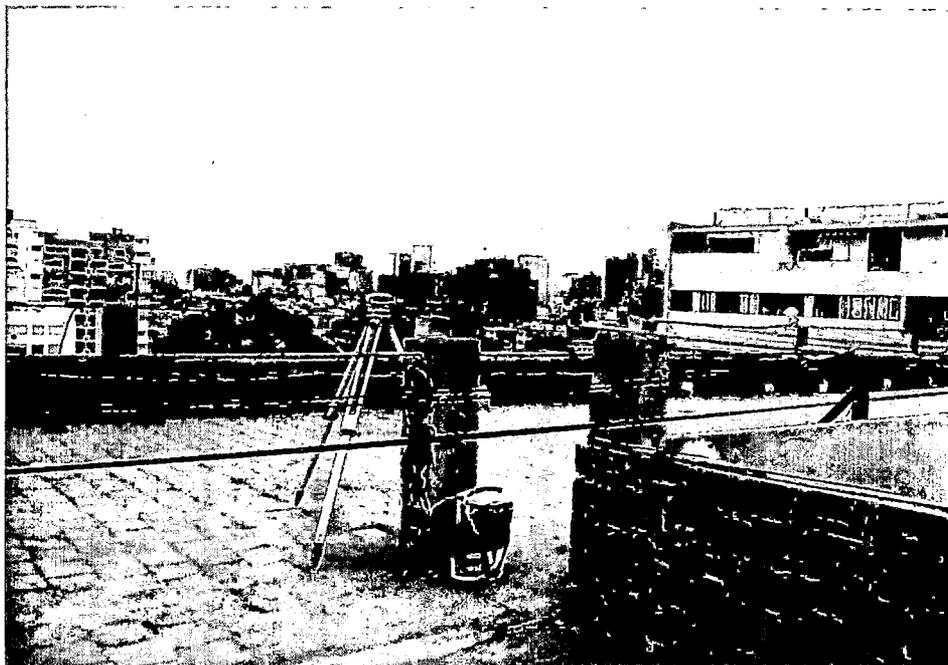


Fotografía D. 4. Coincidencia del eje vertical respecto al punto GPS con la plomada óptica.

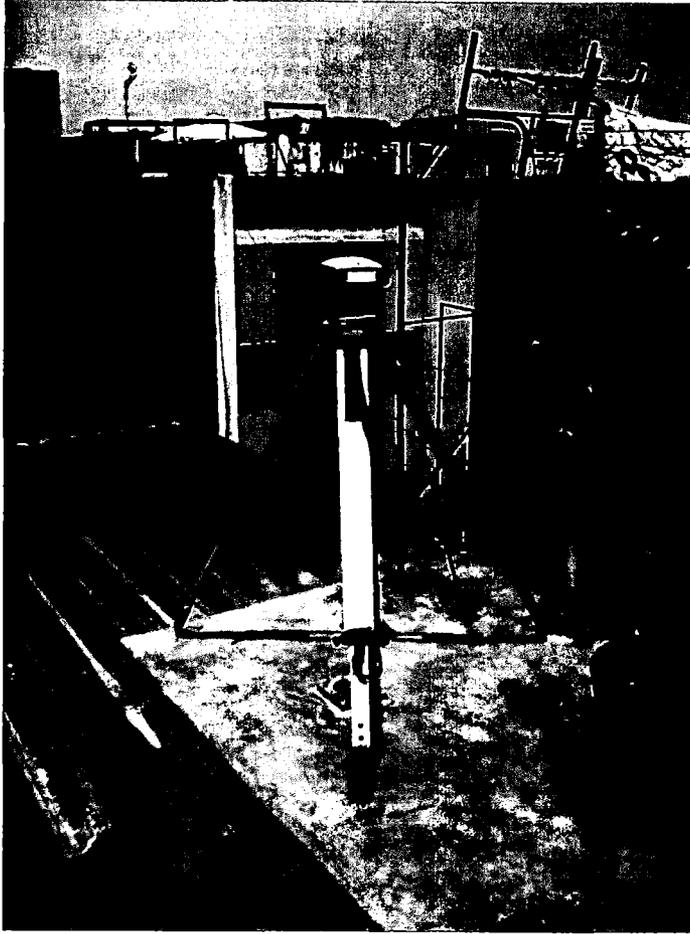


Fotografía D. 5. Acoplamiento del receptor GPS.

❖ **Observaciones GPS**



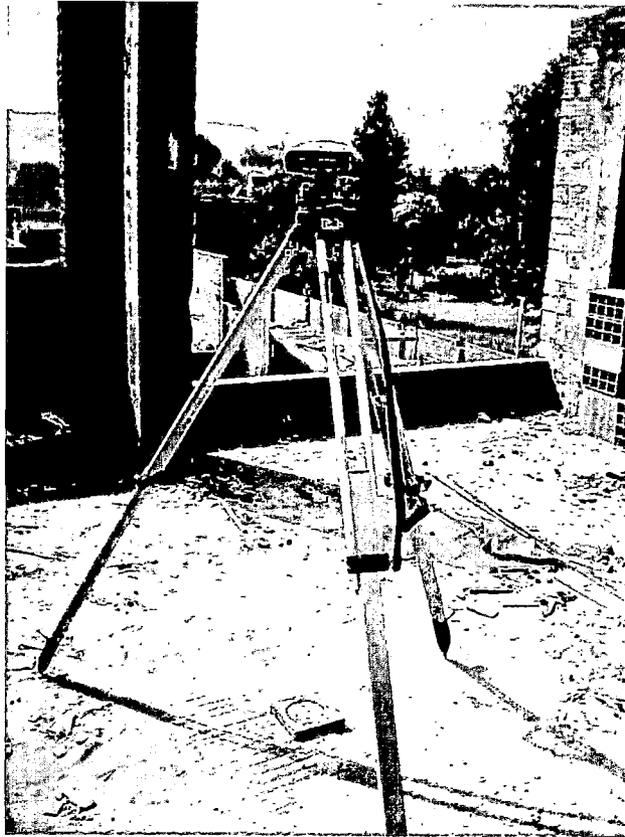
Fotografía D. 6. Punto 1 (Miraflores - Lima)



Fotografía D. 7. Punto 2 (La Victoria - Lima)



Fotografía D. 8. Punto 3 (UNI - Lima)



Fotografía D. 9. Punto 4 (Gloria Alta - Ate Vitarte- Lima)



Fotografía D. 10. Punto 5 (Santa Cruz de Cocachacra - Huarochirí - Lima)



Fotografía D. 11. Punto 6 (Chicla - Huarochiri - Lima)



Fotografía D. 12. Punto 7 (Tarma - Junín)



Fotografía D. 13. Punto 8 (San Ramón - Chanchamayo - Junín)



Fotografía D. 14. Punto 9 (Tingo María - Leoncio Prado - Huánuco)



Fotografía D. 15. Punto 10 (Pucallpa - Coronel Portillo - Ucayali)

❖ **Materiales empleados**



Fotografía D. 16 Discos de bronce (4" de diámetro)



Fotografía D. 17 Encofrado de metal (15 cm x 15 cm x 3 cm)



Fotografía D. 18 Cubierta de plástico para las regiones andinas y tropicales.