

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL



**VINCULACIÓN DE MEDICIONES GPS AL MARCO DE
REFERENCIA SIRGAS-2007, UTILIZANDO
VELOCIDADES DE LA CORTEZA TERRESTRE Y
DESPLAZAMIENTOS DE LAS PLACAS TECTÓNICAS
EN EL DEPARTAMENTO DE SONSONATE**

PRESENTADO POR:

**VICTOR ALFONSO CANDRAY GÓMEZ
MAURA BEATRIZ MARROQUÍN REYES**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

CIUDAD UNIVERSITARIA, JULIO DE 2021

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR:

MSC. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL:

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO:

Ph.D. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA

SECRETARIO:

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

DIRECTOR:

ING. ANÍBAL RODOLFO ORTIZ

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

INGENIERO CIVIL

Título:

**VINCULACIÓN DE MEDICIONES GPS AL MARCO DE
REFERENCIA SIRGAS-2007, UTILIZANDO
VELOCIDADES DE LA CORTEZA TERRESTRE Y
DESPLAZAMIENTOS DE LAS PLACAS TECTÓNICAS
EN EL DEPARTAMENTO DE SONSONATE**

Presentado por:

VICTOR ALFONSO CANDRAY GÓMEZ

MAURA BEATRIZ MARROQUÍN REYES

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

ING. WILFREDO AMAYA ZELAYA

San Salvador, julio de 2021

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

ING. WILFREDO AMAYA ZELAYA

AGRADECIMIENTOS

Queremos agradecer de manera muy especial a todas las personas e instituciones que nos brindaron su apoyo desinteresado para el desarrollo de nuestro trabajo de graduación: A la Universidad de El Salvador por ser parte esencial de la superación educativa de cada uno de los integrantes.

A nuestros docentes por habernos formado académicamente a lo largo de toda nuestra carrera y haber transmitido sus conocimientos profesionales; en especial al Ing. Wilfredo Amaya Zelaya quien fue nuestro docente asesor y a los miembros del tribunal calificador Ing. Mauricio Ernesto Valencia e Ing. Jorge Oswaldo Rivera Flores y en general a los docentes de la carrera de Ingeniería civil, por su constante orientación y aportes en el desarrollo de nuestra carrera.

A la Dirección del Instituto Geográfico Nacional –Centro Nacional de Registros CNR a través del Departamento de Levantamiento de Control Geodésico, por el aporte de información indispensable para el desarrollo de nuestro trabajo de graduación. Así como a todo el personal de dicho departamento que nos apoyaron compartiendo sus conocimientos durante todas las actividades de campo realizadas.

A nuestra estimada señora Mabel Vargas, por su disponibilidad y amabilidad en la administración y gestión documental.

DEDICATORIA

Primeramente, doy gracias a Dios Todo Poderoso por prestarme vida y el don de perseverancia y capacidad para culminar mis metas, por ser la guía en todo momento para superar las dificultades en cada proceso en mi vida.

A mis Padres, Raymundo Candray y Edelmira Gómez, los más sinceros agradecimientos porque con su esfuerzo, sacrificio y su apoyo a lo largo de todos estos años, he logrado la culminación de mi carrera. Por brindar consejos de insistir y luchar por los objetivos que uno desean para un mejor futuro. Gracias a ellos por darme la vida y vivir en una familia unida con fortaleza en Dios.

A Flor De María Ruiz la cual fue un apoyo fundamental para lograr esta meta en mi vida, su insistencia a impulsarme hacia adelante y la confianza depositada en mí, me permitió culminar mi meta. ¡Muchas Gracias!

A mis hermanos que siempre estuvieron apoyándome en todo momento, buenos y malos en el transcurso de mi vida para culminar esta meta.

Le agradezco al Ing. Wilfredo Amaya Zelaya, quien fue asesor en el último proyecto en mi carrera, gracias por los conocimientos transmitidos y el apoyo necesario para culminar el trabajo de Graduación.

Víctor Alfonso Candray Gómez

DEDICATORIA

Este triunfo lo dedico primeramente a DIOS TODOPODEROSO, por ser mi guía y protegerme en el camino de la vida, por haber puesto a mi lado a todas aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo de estudio, y por ayudarme a afrontar todas las adversidades sin perder nunca la fe.

A mis padres, Miguel Ángel Marroquín y María Mirtala de Marroquín, por su apoyo incondicional, por ser los pilares fundamentales de todo lo que soy, por su tiempo, consejos, dedicación y confianza.

A mi hermana Nady Patricia por haberme brindado todos los recursos económicos a lo largo de mi proceso de formación y por su ayuda en todos los momentos más difíciles de mi carrera. Este triunfo también es tuyo.

A mi hermano Luis, por todo su apoyo, sus consejos y por motivarme a salir adelante sin dudar nunca de mi capacidad para cumplir este objetivo de mi vida.

A toda la familia, Cecilia, Miguel, Ángel, Oneal y Valeria, por haber estado siempre pendientes de mi durante todo el trayecto de mi carrera.

Al Ingeniero Wilfredo Amaya Zelaya por su amistad, apoyo y conocimiento invaluable para la realización de este proyecto.

A todo ustedes ¡Muchas Gracias!

Maura Beatriz Marroquín Reyes

RESUMEN

El presente trabajo de graduación se enfoca en el estudio de la Red Geodésica del Departamento de Sonsonate, cuyas coordenadas están vinculadas al sistema ITRF2008, este marco de referencia presenta diferencias centimétricas comparado al sistema SIRGAS-ES2007.8, razón por la cual ha sido necesario su verificación y actualización, vinculándola al nuevo sistema SIRGAS-2007.8. Dicha vinculación incluye actividades de campo como: reconocimiento, monumentación y medición GPS, y post-procesamiento de mediciones utilizando velocidades de la corteza terrestre y desplazamientos de las placas tectónicas en dicho departamento.

En un principio se presentan las generalidades que incentivaron llevar a cabo esta investigación, definiendo los antecedentes de la temática que sirven de base para el planteamiento del problema y los objetivos a desarrollar para dar una solución factible al mismo, además de hacer énfasis de la importancia que dicho proyecto tiene en el desarrollo del país.

En relación a la base teórica se ha considerado presentar los antecedentes y conceptos principales referidos a Sistemas Geodésicos de Referencia tanto globales como locales, haciendo un enfoque específico al Sistema de Referencia Geodésico de El Salvador, el cual se ha llevado en dos etapas, la primera: el sistema antiguo, North American Datum de 1927- NAD27, el cual utilizaba como parámetros un datum de tipo físico, el elipsoide Clarke 1866 y la proyección Cónica Conforme de Lambert, y el sistema actual que corresponde a SIRGAS-ES2007, con un datum de tipo global geocéntrico, elipsoide GRS80 y proyección Cónica Conforme de Lambert SIRGAS-ES2007.

Seguidamente, se presenta la temática correspondiente al Sistema de Posicionamiento Global GPS, que incluye sus antecedentes, definición, componentes y tipos de errores

que podrían darse al momento la utilización de mismo. Además, de manera general se definen los Sistemas Globales de Navegación por Satélite GNSS, como son GLONASS, Galileo y BeiDou, los cuales proveen al igual que GPS servicios de posicionamiento geoespacial de gran precisión.

Respecto a las Técnicas de Medición Satelital, cuyo uso es condicionado de acuerdo a los requerimientos de precisión, disponibilidad de equipo GPS, costos, etc. se establece para cada una de ellas, sus parámetros, características, y procedimientos respectivos para su correcta aplicación. Además, se define la técnica de medición Estática como la elegida para la realización de este proyecto.

Posteriormente, se profundiza en el proceso del establecimiento de una Red Geodésica, la cual está conformada de un conjunto de puntos distribuidos estratégicamente a lo largo y ancho del territorio nacional llamados Vértices Geodésicos, con el objetivo principal de impulsar proyectos de alta precisión que contribuyen al desarrollo del país. En ese sentido, se definen las normas técnicas que sirven de estándares para establecer una red geodésica y procesos operativos necesarios, que incluyen etapas de: diseño, planificación, reconocimiento, monumentación, mediciones GPS y post-procesamiento de datos.

En relación al objetivo principal de esta investigación, que es la Red Geodésica del Departamento de Sonsonate, se definen detalladamente los procedimientos de cada una de las actividades de campo ejecutadas para su actualización. En estas se realizó la evaluación correspondiente a cada una de las estaciones geodésicas, su emplazamiento o definición y por último el proceso de medición correspondiente tanto para vértices principales como para marcas de azimut. Dicho proceso de medición fue realizado con equipos GPS Trimble R8 y R4 así como con la aplicación Trimble DL.

A continuación, se presentan las metodologías aplicadas en el procesamiento y ajuste de la red geodésica, para lo cual se ha requerido la preparación de coordenadas, consistente en el cambio de época de los vértices de referencia utilizados (vértice NOA1 y Hacienda Sihupilapa, HSIH). Para este procesamiento de datos se ha utilizado el software Trimble Total Control, el cual es idealmente adecuado para el manejo de redes GPS. Como resultado de este procesamiento y ajuste se presenta el informe de coordenadas geográficas y cartesianas correspondientes a la época de observación, 2020.7883.

En relación a los resultados finales esperados, se detallan todos los procedimientos requeridos para la vinculación de coordenadas desde la época de observación a la época de referencia del sistema SIRGAS-ES2007, época 2007.8, que incluye: cálculo de velocidades de las estaciones a través del modelo de velocidades Vemos2009, cálculo de coordenadas a un Sistema de Coordenadas Geocéntricas Cartesianas utilizando fórmulas, cambios de sistemas de coordenadas etc., todos necesarios para la determinación de resultados de Coordenadas Geográficas y Coordenadas Planas Lambert SIRGAS-ES2007, época 2007.8.

Finalmente se presentan las conclusiones, recomendaciones y sección de anexos correspondientes al desarrollo de la investigación.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	v
DEDICATORIA	vi
RESUMEN.....	viii
INTRODUCCIÓN.....	xviii
CAPÍTULO I	
GENERALIDADES	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Planteamiento del Problema	5
1.3 Objetivos	6
1.4 Alcances	7
1.5 Limitaciones	8
1.6 Justificación.....	9
CAPÍTULO II	
SISTEMA GEODÉSICO DE REFERENCIA.....	10
2.1 Sistema de Coordenadas Geográficas.....	10
2.2 Sistema de Coordenadas Planas o Locales	13
2.3 Sistema Geodésico de Referencia	18
2.4 Sistema Geodésico Mundial WGS-1984	22
2.5 Sistema Geodésico de Referencia NAD27	24
2.5.1 Proyección Cartográfica Cónica Conformal de Lambert Secante.....	26
2.6 Sistema Geodésico de Referencia SIRGAS-ES2007	28
2.6.1 Proyección Cartográfica Cónica Conformal de Lambert SIRGAS-ES2007..	31
CAPÍTULO III	
SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL	33
3.1 Antecedentes del Sistema de Posicionamiento Global.....	33
3.2 Definición del Sistema	35
3.3 Componentes del Sistema GPS	41

3.4 Fuentes de Error del Sistema	54
3.5 Sistemas GNSS	61
3.5.1 Sistema GLONASS.....	63
3.5.2 Sistema Galileo.....	68
3.5.3 Sistema BeiDou	72
 CAPÍTULO IV	
TÉCNICAS DE MEDICIÓN SATELITAL	77
4.1 Medición Estática	77
4.2 Medición Estática Rápida	82
4.3 Medición Cinemática	84
4.4 Medición en Tiempo Real (RTK -Real Time Kinematic).....	86
 CAPÍTULO V	
REDES GEODESICAS.....	90
5.1 Redes geodésicas.....	90
5.2 Establecimiento de las Redes Geodésicas.....	90
5.2.1 Diseño y Planificación.....	93
5.2.2 Reconocimiento	93
5.2.3 Estado Actual de la Red Geodésica de Sonsonate	100
5.2.4 Monumentación	101
5.2.5 Medición GPS.....	107
5.2.6 Cálculo de Coordenadas de Amarre de la Red SIRGAS-ES2007.8 para la Red Geodésica de Sonsonate.....	126
5.2.7 Procesamiento y Ajuste de la Red Geodésica	129
 CAPÍTULO VI	
VINCULACION DE MEDICIONES GPS AL MARCO DE REFERENCIA SIRGAS-ES2007.....	159
6.1 Cambio de Época de Vértices de la Red Geodésica del Departamento de Sonsonate.....	159

6.2 Desplazamiento lineal de la Red de Sonsonate durante el periodo 2007-2020 182

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	185
7.1 Conclusiones.....	185
7.2 Recomendaciones.....	188
BIBLIOGRAFIA.....	189
ANEXOS	191

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Paralelos.....	11
Figura 2.2 Meridianos.	12
Figura 2.3 Latitud y Longitud de un punto P.....	13
Figura 2.4 Proyección cartográfica.	14
Figura 2.5 Proyección acimutal.....	15
Figura 2.6 Proyección cilíndrica.	15
Figura 2.7 Proyección cónica.....	16
Figura 2.8 Separación de Husos del mapa en el globo terráqueo.....	17
Figura 2.9 Cuadrícula UTM, zona 16.	17
Figura 2.10 Representación del geoide y elipsoide.....	19
Figura 2.11 Parámetros de un elipsoide.	20
Figura 2.12 Representación del datum local.....	21
Figura 2.13 Datum geocéntrico.....	22
Figura 2.14 Elipsoide WGS-84.....	23
Figura 2.15 Datum NAD27.....	24
Figura 2.16 Escala de datum NAD27.....	25
Figura 2.17 Superposición del cono sobre el globo terráqueo, Proyección Cónica Conformal de Lambert.	27
Figura 2.18 Red SIRGAS-COM.....	30
Figura 2.19 Red Geodésica Básica Nacional de El Salvador, SIRGAS-ES2007.....	31
Figura 3.1 Operadora de satélites, Base Aérea de Schriever.....	34
Figura 3.2 Lanzamiento de satélites de la constelación NAVSTAR mediante un cohete Delta.....	34
Figura 3.3 Señal GPS, esfera generada por la distancia R1.....	36
Figura 3.4 Medición GPS con incorporación de un segundo satélite con una distancia R2.....	36
Figura 3.5 Medición GPS con 3 satélites.	37
Figura 3.6 Medición GPS con 4 satélites.	38
Figura 3.7 Esquema del viaje de la señal GPS en el tiempo.....	39
Figura 3.8 Segmentos del sistema, Segmento Espacial.	42
Figura 3.9 Impresión artística de un satélite GPS IIR.	44
Figura 3.10 Satélites de la Constelación GPS.	45

Figura 3.11 Reloj atómico.....	46
Figura 3.12 Frecuencias del sistema GPS.....	47
Figura 3.13 Frecuencias del Sistema GPS.....	48
Figura 3.14 Segmentos del GPS, Segmento Control.....	49
Figura 3.15 Estaciones del control del sistema.....	50
Figura 3.16 Segmento usuario del sistema GPS.....	51
Figura 3.17 Navegadores GPS.....	52
Figura 3.18 Receptores geodésicos de una frecuencia.....	53
Figura 3.19 Receptores geodésicos de doble frecuencia.....	53
Figura 3.20 Utilización del Sistema GPS por el ejército.....	54
Figura 3.21 Distorsión de la señal debido a la ionósfera.....	56
Figura 3.22 Efecto multitrayectoria.....	56
Figura 3.23 Antena Choke Ring.....	57
Figura 3.24 Diagrama de máscara de elevación.....	58
Figura 3.25 Diagrama de ventana de observación.....	58
Figura 3.26 Dilución de precisión.....	60
Figura 3.27 Mala geometría satelital.....	61
Figura 3.28 Buena geometría satelital.....	61
Figura 3.29 Sistemas Globales de Navegación por Satélite.....	62
Figura 3.30 Generaciones del Sistema GLONASS.....	65
Figura 3.31 Antiguo segmento control de GLONASS.....	66
Figura 3.32 Constelación Galileo.....	69
Figura 3.33 Servicios de Sistema Galileo.....	72
Figura 3.34 Lanzamiento del último satélite de BeiDou, Junio 2020.....	74
Figura 3.35 Órbitas del Sistema BeiDou.....	75
Figura 4.1 Red de triangulación resultante de una medición estática.....	78
Figura 4.2 Reconocimiento en campo para la monumentación de un vértice geodésico.	80
Figura 4.3 Placa de identificación de vértice geodésico.....	81
Figura 4.4 Vértice de la red geodésica.....	81
Figura 4.5 Medición del punto A al punto B utilizando en medición Estática.....	82
Figura 4.6 Modo de observación Estática Rápida.....	83
Figura 4.7 Proceso de inicialización.....	85
Figura 4.8 Método de Medición Cinemático.....	85

Figura 4.9 Medición en Tiempo Real RTK.	87
Figura 5.1 Brújula de mano.....	95
Figura 5.2 Medida de rango de azimut.....	96
Figura 5.3 Medida de ángulo vertical de un obstáculo.	97
Figura 5.4 Diagrama de obstrucción.	98
Figura 5.5 Vértices geodésicos destruidos y obstruidos.....	100
Figura 5.6 Diseño de placa geodésica.	102
Figura 5.7 Actividades de monumentación: excavación, armado de acero y realización de mezcla.	104
Figura 5.8 Actividades de monumentación: vaciado de concreto y acabado final del vértice.....	104
Figura 5.9 Vértices geodésicos en estructuras existentes y placas geodésicas.....	105
Figura 5.10 Marcas de azimut.....	106
Figura 5.11 Tipos de marcas de referencia.....	107
Figura 5.12 Receptor GPS acoplado y nivelado.....	108
Figura 5.13 Medición de altura.....	108
Figura 6.1 Cálculo de coordenadas utilizando Excel.....	168
Figura 6.2 Modelación de desplazamientos de los vértices de la red de Sonsonate.	184

INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Parámetros de proyección UTM, zona 16.	18
Tabla 2.2 Algunos elipsoides y sus parámetros característicos.	21
Tabla 2.3 Elipsoides y datum.	26
Tabla 2.4 Parámetros de Proyección Cónica Conformal de Lambert, NAD27.....	28
Tabla 2.5 Parámetros de Proyección Cónica Conformal de Lambert, SIRGAS-ES2007.	32
Tabla 4.1 Parámetros de Medición Estática.	78
Tabla 4.2 Parámetros de Medición Estática Rápida Parámetros de Medición Estática.	83
Tabla 4.3 Parámetros de Medición Cinemática Parámetros de Medición Estática.	86
Tabla 4.4 Parámetros de Medición en Tiempo Real RTK.	88
Tabla 5.1 Velocidades de estaciones de referencia 127	127
Tabla 5.2 Coordenadas de vértices de referencia, Red Geodésica Básica Nacional (SIRGAS-ES2007). Época 2007.8.	127
Tabla 5.3 Coordenadas Geocéntricas de vértices de referencia, Red Geodésica Básica Nacional (SIRGAS-ES2007), época de observación 2020.7883.	128
Tabla 5.4 Coordenadas geográficas de estaciones de referencia, época 2020.7883	128
Tabla 5.5 Coordenadas geográficas, época 2020.7883.....	142
Tabla 5.6 Coordenadas geográficas de estaciones de referencia, época 2020.7883	150
Tabla 5.7 Coordenadas cartesianas geocéntricas, época actual 2020.7883.....	157
Tabla 5.8 Coordenadas geográficas, época actual 2020.7883.....	158
Tabla 6.1 Variación de velocidades de la red geodésica de Sonsonate, época 2007.8	166
Tabla 6.2 Coordenadas geocéntricas de la red geodésica de Sonsonate, época 2020.7883.....	167
Tabla 6.3 Coordenadas geocéntricas de la red geodésica de Sonsonate, época 2007.8	170
Tabla 6.4 Coordenadas geográfica de la red geodésica de Sonsonate, Época 2007.8	175
Tabla 6.5 Coordenadas Planas Lambert SIRGAS-ES2007, época 2007.8	181
Tabla 6.6 Tabla de desplazamientos periodo 2007-2020.....	183

INTRODUCCIÓN

El presente documento tiene como objetivo principal el desarrollo de la vinculación de mediciones GPS al Marco de Referencia SIRGAS-2007, utilizando velocidades de la corteza terrestre y desplazamientos de las placas tectónicas en el departamento de Sonsonate. Al mismo tiempo de servir como una guía básica que incluya tanto una fundamentación teórica como el detalle de todos los procesos requeridos para lograr dicho objetivo.

Su elaboración consta de un total de siete capítulos, con los que se pretende exponer cada una de las temáticas relacionadas más importantes, descripción de actividades de campo, post-procesamiento de datos, etc. Estos capítulos se detallan a continuación:

Capítulo I: este contiene un preámbulo, que incluye antecedentes, planteamiento del problema, objetivos generales y específicos, justificación, alcances y limitaciones del proyecto.

Capítulo II: contiene los conceptos básicos para la descripción del Sistema Geodésico de Referencia y sus componentes, haciendo énfasis en el Sistema de Referencia Geodésico de El Salvador utilizado hasta 2017 y su cambio al sistema actual, SIRGAS-ES2007.

Capítulo III: en este se expone en detalle toda la temática relacionada al Sistema de Posicionamiento Global GPS, sus antecedentes, principios, componentes y forma de funcionamiento. Además, se describen de manera general los Sistemas Globales de Navegación por Satélite GNSS restantes, es decir, GLONASS, Galileo y BeiDou.

Capítulo IV: en este capítulo se presentan las técnicas de medición satelital: Estática, Estática Rápida, Cinemática y Medición en Tiempo Real RTK. Para cada una de ellas

se definen los parámetros, procedimiento y forma de aplicación. En las mediciones realizadas durante este trabajo se ha utilizado la técnica de medición estática.

Capítulo V: contiene todo lo relacionado al establecimiento y mantenimiento de una red geodésica. En este capítulo se especifican las normas que rigen dichos procesos y el detalle de cada una de las actividades de campo requeridas para los mismos, específicamente, se describen los procesos de reconocimiento, monumentación y medición GPS llevadas a cabo en el departamento de Sonsonate. Asimismo se establecen las metodologías correspondientes al procesamiento y ajuste de la red, para lo cual se utilizó el software Trimble Total Control TTC.

Capítulo VI: este contiene todos los procesos requeridos para la vinculación de mediciones GPS, en los cuales se incluyen: cambios de época, cambios de sistemas de coordenadas, cálculo de velocidades de estaciones geodésicas, etc. También se presentan los resultados a través de tablas, correspondientes a coordenadas geográficas WGS-84 y coordenadas planas Lambert SIRGAS-ES2007 de uso oficial.

Capítulo VII: en este se presentan conclusiones y recomendaciones del proyecto.

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

Las primeras actividades relacionadas con la Geodesia de Referencia, desarrolladas en El Salvador se remontan a la década de 1930. Con el propósito de establecer la línea de frontera del país con Honduras y Guatemala, se adelantan levantamientos geodésicos de primer orden entre 1937 y 1940, auspiciados principalmente, por el *US Coast and Geodetic Survey* (USCGS). Posteriormente, en 1946, se crea la Dirección General de Cartografía, la cual estaría a cargo de establecer una red nacional de triangulación y de elaborar la representación cartográfica del país mediante mapas topográficos. Gracias al esfuerzo conjunto de esta Dirección General de Cartografía y del *Inter American Geodetic Survey* (IAGS), estos dos objetivos fueron alcanzados en 1958. (Mugnier, 2005). La red de triangulación básica estuvo conformada por 60 vértices principales (de primer orden), los cuales fueron densificados en los diferentes departamentos con 1600 estaciones adicionales de órdenes inferiores. El primer ajuste de esta red se desarrolló con base en el dátum horizontal Ocatepeque, establecido en Honduras por el USCGS en 1935 con el punto fundamental $\varphi = 14^{\circ} 26' 20,168''$ N y $\lambda = 89^{\circ} 11' 33,964''$ W y apoyado en el elipsoide de Clarke 1866 ($a = 6\,378\,206,4$ m, $1/f = 294,978\,6982$).

Posteriormente, el Defense Mapping Agency y el Interamerican Geodetic Survey (DMA-IAGS) convertido eventualmente en la *National Imagery and Mapping Agency* (NIMA), hoy *National Geospatial-Intelligence Agency* (NGA), reprocesó la red de triangulación salvadoreña, junto con las de los otros países centroamericanos, utilizando como referencia el *North American Dátum* de 1927 (NAD27), el cual también se apoya en el

elipsoide de Clarke 1866, pero cuyo punto fundamental tiene las coordenadas $\varphi = 39^{\circ} 13' 26,71218''$ N y $\lambda = 98^{\circ} 32' 31,74604''$ W.

Actualmente, la geodesia de primer orden en El Salvador está a cargo de la Gerencia de Geodesia del Instituto Geográfico y del Catastro Nacional (IGCN) del Centro Nacional de Registros (CNR), siendo su objetivo principal suministrar una plataforma de referencia moderna, precisa y confiable a los productores y usuarios de información georreferenciada en el país. Dentro de este contexto, se han llevado a cabo diferentes actividades encaminadas a la modernización del marco de referencia nacional, de modo que sirva de base para el desarrollo de levantamientos geodésicos de alta precisión y que soporte el uso adecuado de técnicas de navegación apoyadas en satélites, especialmente el GPS (*Global Positioning System*). Las principales actividades se resumen en:

- a) Vinculación al WGS84 (*World Geodetic System*, 1984) de la red de triangulación referida al NAD27: Para el efecto se ocuparon con GPS tres vértices de la red de triangulación, que fueron procesados simultáneamente con puntos geodésicos antiguos de otros países centroamericanos para determinar los parámetros de transformación entre el dátum horizontal clásico NAD27 - realización Centro América- y el WGS84. Los cálculos fueron adelantados por la NIMA y los resultados se presentan en *NIMA Technical Report* No. 8350.2 del 4 de julio de 1997 (NIMA, 1997).
- b) Establecimiento de la Red GPS de 1998 dentro del Plan Nacional de Modernización del Registro Inmobiliario y el Catastro de El Salvador: Esta red estuvo compuesta por 16 vértices principales, que fueron ocupados con GPS durante sesiones de ocho horas a finales de 1998. La Gerencia de Geodesia del IGCN adelantó un cálculo preliminar de la red en 1999, utilizando como

estaciones de referencia los tres puntos determinados por NIMA en el ítem anterior.

Posteriormente, en 2000, a través de una consultoría con el *Institut Geographic National* de Francia, la red fue procesada nuevamente utilizando el software Bernese V.4.0 (Rotacher and Mervart, 1996) y cuatro estaciones del ITRF (Bogotá, Galápagos, Sainte Croix y Mc Donald).

Las coordenadas finales de esta red se obtuvieron en el marco de referencia ITRF97, época 1998.9 (Canaud 2000). Sin embargo, por simplicidad, en el país se acostumbró el uso de la denominación WGS84, siendo realmente el marco de referencia ITRF97, época 1998.9. Si bien desde enero de 2002 (semana GPS 1150) el sistema de referencia WGS84 adoptó como realización al ITRF y desde esa fecha, éstos son prácticamente idénticos (Merrigan et al. 2002), es conveniente que en el país tanto expertos como usuarios cercanos, se acostumbren a utilizar el nombre adecuado.

Dentro del Plan Nacional de Modernización del Registro Inmobiliario y el Catastro de El Salvador, denominado “Chambita Medidor”, se tomó como proyecto Piloto el Departamento de Sonsonate, midiendo para tal fin la Red Geodésica de este departamento, amarrada geodésicamente a la Red GPS Básica.

Posteriormente en el año 2008, se midió nuevamente tomando como referencia el ITRF2005, época 2008, amarrándola geodésicamente a Estaciones de Referencia de Operación Continua: San Salvador Ilopango Airport (SSIA), Guatemala (GUAT) y Tegucigalpa (TEGU).

Esta Red Geodésica medida en el año 2008 no se integró a la Red SIRGAS-ES2007.8 debido a no se tenía los resultados del ajuste de dicha red ni los parámetros de Transformación y Proyección Cartográfica de SIRGAS-ES2007.8

Finalmente en el año 2007, se realizó el Proyecto de Densificación de SIRGAS en El Salvador mediante la determinación de la red SIRGAS-ES2007. Esta red está compuesta por 38 estaciones distribuidas homogéneamente sobre el territorio nacional, que han sido ajustadas dentro del marco continental SIRGAS y constituyen el nuevo marco de referencia geodésico de El Salvador.

1.2 Planteamiento del Problema

La Red Geodésica del Departamento de Sonsonate, la cual es el objeto de este estudio, no está vinculada a la Red Geodésica Nacional SIRGAS-ES2007.8; sino que al ITRF2008, por tanto las coordenadas de esa red, presentan diferencias centimétricas con el nuevo Sistema de Referencia SIRGAS-ES2007; por lo que se necesita realizar la vinculación respectiva.

Para esto se deberá verificar que la red geodésica se encuentre en excelentes condiciones, físicamente y libre de obstrucciones para poder dar inicio a las mediciones satelitales en los vértices y marcas de azimut que componen la red y realizar los cálculos matemáticos para el cambio de época, es decir las coordenadas obtenidas del procesamiento y ajuste del año 2020 pasarla a la época 2007.8 la cual es la época de referencia de la Red SIRGAS-ES.

1.3 Objetivos

Objetivo General

- Realizar la vinculación de mediciones GPS al marco de referencias SIRGAS-2007, utilizando velocidades de la corteza terrestre y desplazamiento de las placas tectónicas en el Departamento de Sonsonate.

Objetivos Específicos

- Verificar el estado físico de los monumentos que componen la Red Geodésica del Departamento de Sonsonate.
- Realizar la monumentación respectiva de los vértices dañados o desaparecidos por caso fortuito o fuerza mayor.
- Efectuar las observaciones GPS de la red geodésica.
- Definir la nueva red geodésica en el Departamento de Sonsonate para su vinculación al marco de referencia SIRGAS-2007.

1.4 Alcances

- Mantener actualizada y en buenas condiciones el marco de referencia geodésico SIRGAS-ES2007.8

- Llevar a cabo el proceso de vinculación de la nueva red geodésica del departamento con el marco de referencia SIRGAS-2007, haciendo uso de velocidades de la corteza terrestre y desplazamientos de las placas tectónicas.

- Finalmente contribuir con un manuscrito asequible que sirva como guía en los procesos de replanteo de Redes Geodésicas departamentales del país, así como contribuir a una mayor implementación de las tecnologías GPS, más utilizadas en la rama de la Geodesia y por ende en el área de la Ingeniería Civil.

1.5 Limitaciones

- El trabajo de investigación estará limitado a 9 meses como período máximo para su finalización, por lo que todas las actividades a realizar estarán sujetas a plazos definidos.
- Debido a que la investigación requiere la participación en campo para poder reconocer, monumentar y tomar mediciones GPS en vértices geodésicos del Departamento de Sonsonate, el periodo de realización de estas actividades estará condicionado al desarrollo del proyecto llevado a cabo por Instituto Geográfico y del Catastro Nacional (IGCN) del Centro Nacional de Registros (CNR).
- En nuestro país no existen tesis, libros o investigaciones en detalle sobre las redes geodésicas correspondientes a cada departamento por lo que la bibliografía al respecto es bastante escasa.

1.6 Justificación

Las redes geodésicas se desactualizan por los efectos geodinámicos, es decir desplazamientos de la corteza terrestre; por lo consiguiente se recomienda actualizar dichas redes cada 5 años aproximadamente y realizar verificaciones constantes de los vértices y los azimut, actualizando las coordenadas con cálculos aritméticos.

Además se necesita tener coordenadas actualizadas para levantamientos Batimétricos en la zona del Puerto de Acajutla y zonas aledañas.

CAPITULO II

SISTEMA GEODÉSICO DE REFERENCIA

2.1 Sistema de Coordenadas Geográficas

Un sistema de coordenadas geográficas es un sistema de referencia utilizado para la ubicación de cualquier punto sobre la superficie terrestre y medición de elementos geográficos. Este sistema fue ideado para la vinculación de todos los mapas, para dar una ubicación de cada punto sobre la tierra, detalles especificados en el mismo y facilitar la explotación de las características métricas para representar medidas reales del globo terráqueo.

En este sistema, la localización de un elemento está dado por dos coordenadas angulares llamadas latitud y longitud, las cuales son medidas en grados, minutos y segundos y cuya formación se basa en dos conceptos importantes que se definen a continuación.

- **Paralelos**

Los paralelos son líneas horizontales imaginarias que rodean al planeta tierra formando circunferencias a su alrededor, entre ellos el más importante es el Ecuador. Este es el círculo imaginario máximo perpendicular al eje de rotación de la tierra, también es llamado paralelo de referencia o paralelo 0° (cero grados) y divide al planeta en dos partes iguales llamadas hemisferios: Hemisferio Norte y Hemisferio Sur.

Hemisferio Norte, semiesfera que abarca desde el Ecuador hasta el polo Norte y Hemisferio Sur, semiesfera que comprende desde el Ecuador hasta el polo Sur.

Tanto al Norte como al sur del ecuador, se pueden trazar una sucesión de paralelos menores que se hacen más pequeños a medida que se acercan a los polos, entre estos existen cuatro paralelos particulares.

El trópico de Cáncer ($23^{\circ}27'N$) y el trópico de Capricornio ($23^{\circ}27'S$), los cuales delimitan los puntos más al Sur y al Norte del Ecuador, en los que el sol se ubica completamente vertical, es decir, son las altitudes máximas que alcanza el sol en su movimiento anual aparente. En el caso del Trópico de Cáncer, esto ocurre en el solsticio de junio (21-22 de junio) y para el Trópico de Capricornio durante el solsticio de diciembre (22-23 de diciembre).

El Círculo Polar Ártico ($66^{\circ}33'N$) y el círculo Polar Antártico ($66^{\circ}33'S$), los cuales delimitan los puntos más al Norte y al Sur del ecuador donde el sol se pone en el horizonte, o no llega a salir como sucede en las fechas de los solsticios (Figura 2.1). Los círculos polares se encuentran a la misma distancia de los polos que los trópicos del ecuador: $66^{\circ}33'$.

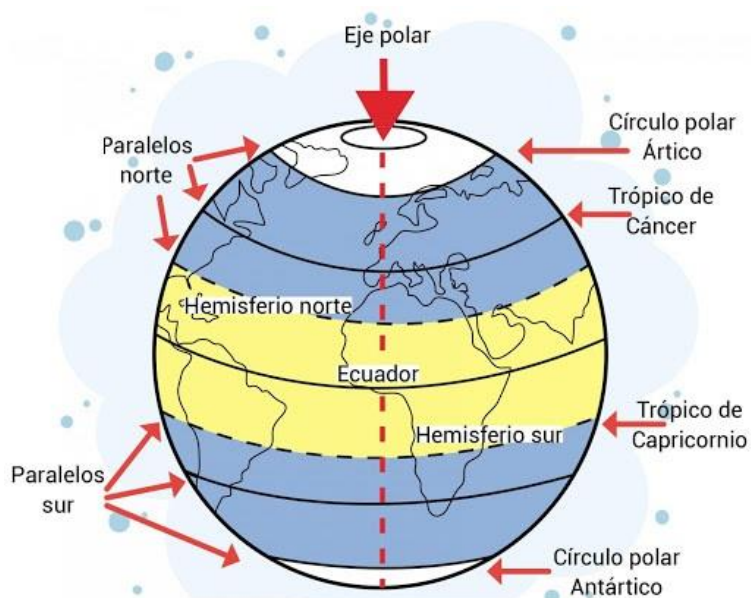


Figura 2.1 Paralelos.

Fuente: Meridianos y paralelos, <https://instrumentosdemedicion.org>

- Meridianos

Los meridianos son círculos imaginarios que pasan por los polos y son perpendiculares al Ecuador, cada meridiano está compuesto por dos semicírculos, uno que contiene el meridiano considerado y el otro al meridiano opuesto o antimeridiano.

En 1884, una comisión internacional designó como meridiano 0° o meridiano de origen el que pasa por London's Greenwich Observatory, cerca de Londres. El meridiano de Greenwich como es conocido divide la tierra en dos hemisferios: Hemisferio Oriental: situado al Este de dicho meridiano y el hemisferio Occidental al Oeste del mismo (Figura 2.2).

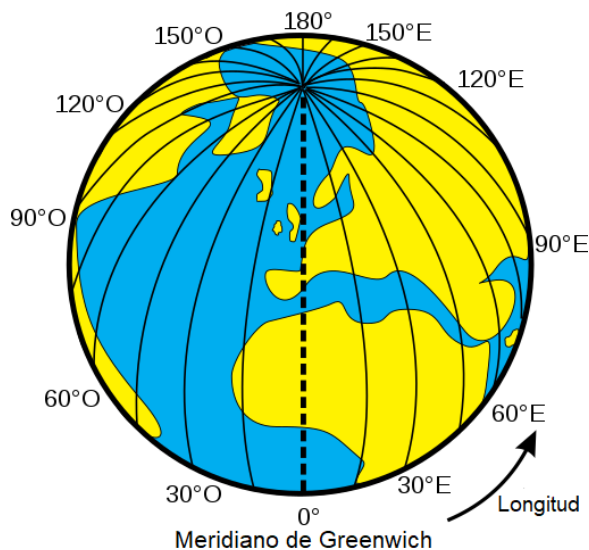


Figura 2.2 Meridianos.

Fuente: <https://pediaa.com>

El sistema de coordenadas geográficas define la posición de un punto mediante la intersección de un paralelo y un meridiano. Para ello utiliza los valores de latitud y longitud antes mencionadas (Figura 2.3).

Latitud: es la distancia entre cualquier punto de la tierra y el Ecuador, medida desde el centro de la tierra, se expresa en medidas angulares que varían de 0 a 90 grados en el

hemisferio Norte y de 0 a -90 grados en el hemisferio Sur. Las líneas de latitud corresponden a los paralelos o líneas ecuatorianas.

Longitud: es la distancia entre cualquier punto de la tierra y el meridiano de Greenwich, medida desde el centro de la tierra, se expresa en medidas angulares que van desde 0 a 180 grados en el hemisferio Este y de 0 a -180 grados en el hemisferio Oeste. Las líneas de longitud corresponden a los meridianos y su representación es con una "L" mayúscula.

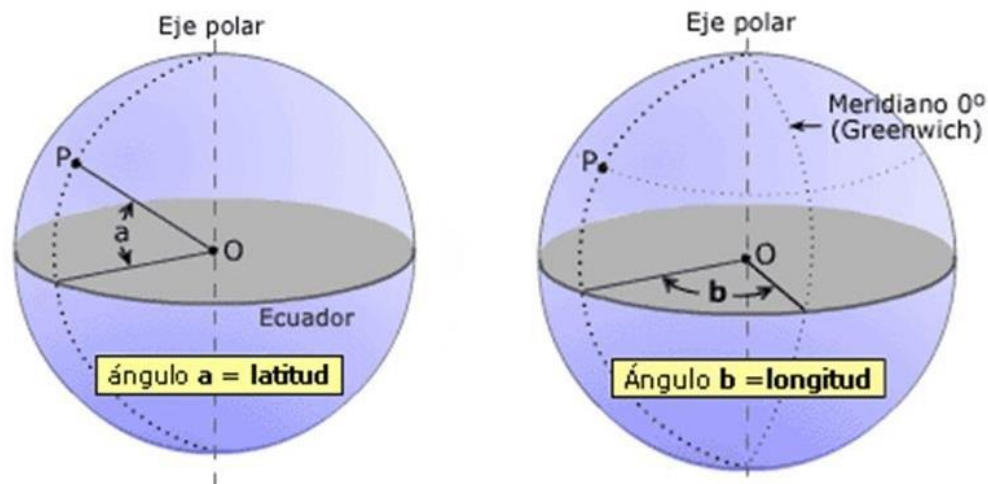


Figura 2.3 Latitud y Longitud de un punto P.

Fuente: <http://www.locosporlageologia.com.ar>

2.2 Sistema de Coordenadas Planas o Locales

La posición de un punto en el espacio es descrita a través de números llamados coordenadas. En un sistema de coordenadas en la superficie de una esfera, como la superficie curva terrestre, la posición de un punto está dada por latitud y longitud, sin embargo resulta necesario conocer su proyección en una cuadrícula plana (X, Y) (Figura 2.4). Las coordenadas planas son utilizadas en trabajos de escasa envergadura por lo que omite la corrección de medidas tomadas para referirlas al elipsoide.

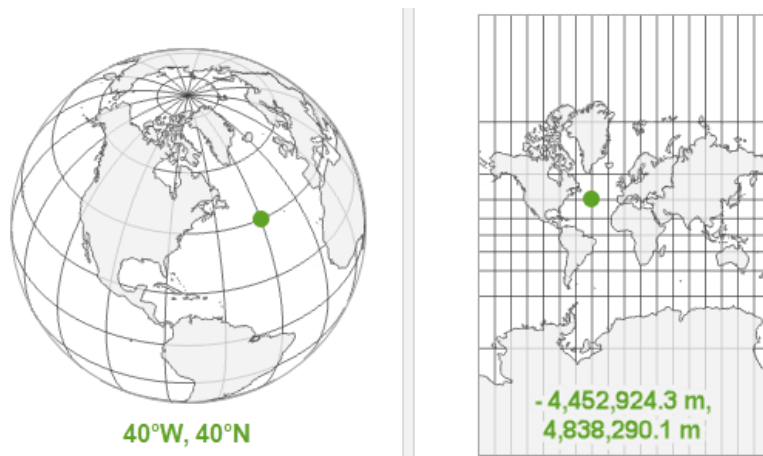


Figura 2.4 Proyección cartográfica.

Fuente: <https://pro.arcgis.com>

Las coordenadas planas o coordenadas proyectivas son las que resultan de la proyección de una superficie elipsoidal sobre un plano, estos puntos proyectados son representados por coordenadas en dirección Norte y Este, (Y, X), medidas sobre dos ejes perpendiculares entre sí que concurren en un punto de origen definido.

El proceso de proyección en este sistema de coordenadas distorsiona la superficie original, esto ocurre con respecto a la forma, distancia, dirección y área, la cual se trate de convertir a una superficie plana a dos dimensiones. Los sistemas de proyección pueden ser clasificados de acuerdo con el tipo de superficie de proyección a utilizar, Planas o cenitales, Cilíndricas y Cónicas.

- Proyección plana o acimutal: en la proyección plana, la tierra se proyecta sobre un plano cuyo único punto de contacto es el polo que se esté cartografiando. Esta proyección representa con mayor fidelidad las regiones polares

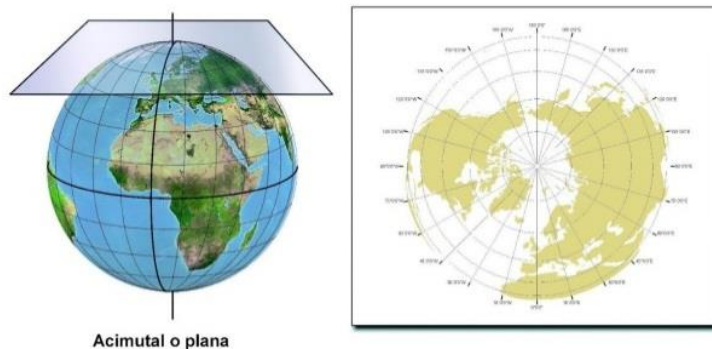


Figura 2.5 Proyección acimutal.

Fuente: *Proyecciones Cartográficas*, <https://geomatiksinfronteras.wordpress.com>

- Proyección cilíndrica: en este tipo de proyección, la tierra se coloca dentro de un cilindro utilizando como línea de contacto el ecuador, razón por la cual, las mayores deformaciones se observan en las zonas más alejadas a él.

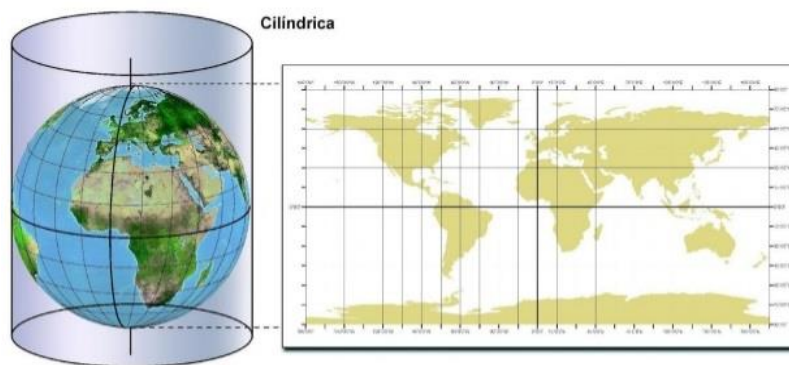


Figura 2.6 Proyección cilíndrica.

Fuente: *Proyecciones Cartográficas*, <https://geomatiksinfronteras.wordpress.com>

- Proyección cónica: en este tipo de proyecciones, la tierra se inscribe en un cono que al desplegarse adquiere la forma de un abanico. La zona de contacto entre la tierra y el cono se da en la línea de los trópicos, razón por la cual esta proyección es la más adecuada para la representación de latitudes medias.

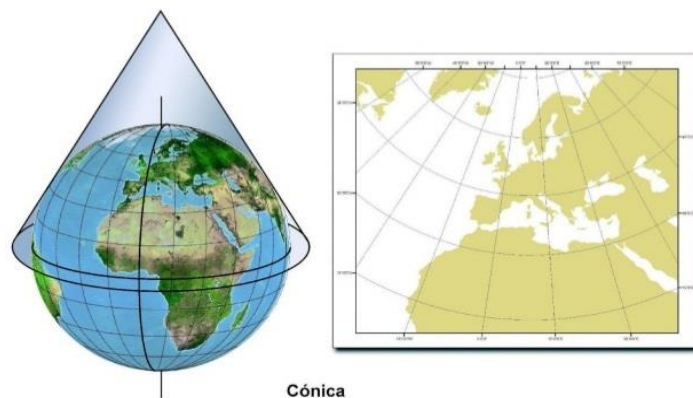


Figura 2.7 Proyección cónica.

Fuente: *Proyecciones Cartográficas*, <https://geomatiksinfronteras.wordpress.com>

Proyección de Universal Transversal de Mercator UTM

La Proyección de Mercator es la más conocida de las proyecciones y da lugar al sistema de coordenadas UTM, fue inventada en 1569 por el geógrafo Gerardus Mercator. Esta no se trata simplemente una proyección sino de un sistema completo que toma como base una proyección cilíndrica para cartografiar la totalidad de la tierra, para lo cual se divide en zonas rectangulares que forman una cuadrícula con parámetros geodésicos concretos para dichas zonas.

Las zonas de la cuadrícula UTM son llamadas husos, enumerados de 1 a 60 y con 6° de longitud, cada huso es tangente en su parte central a un meridiano de la tierra. El huso 1 se sitúa entre los 180° y 174° O avanzando su numeración hacia el Este (Figura 2.8).

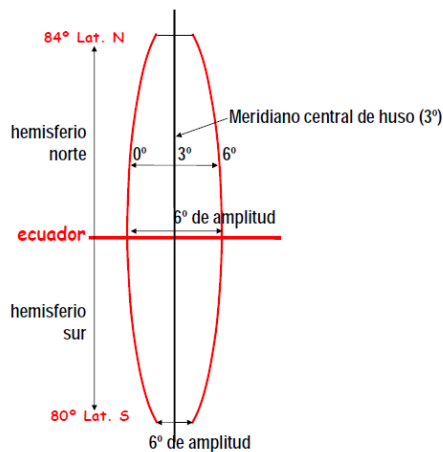


Figura 2.8 Separación de Husos del mapa en el globo terráqueo.

Fuente: <https://www.crea.f.uab.es>

En latitud, cada huso se divide en 20 zonas, que van desde los 80° S hasta los 84° N. la forma de interpretarse es la siguiente, utiliza letras desde la C a la X, con excepción de las letras I y O por su similitud con los dígitos 1 y 0. Cada zona abarca 8 grados de latitud, excepto la X que se prolonga unos 4 grados adicionales (Figura 2.9).

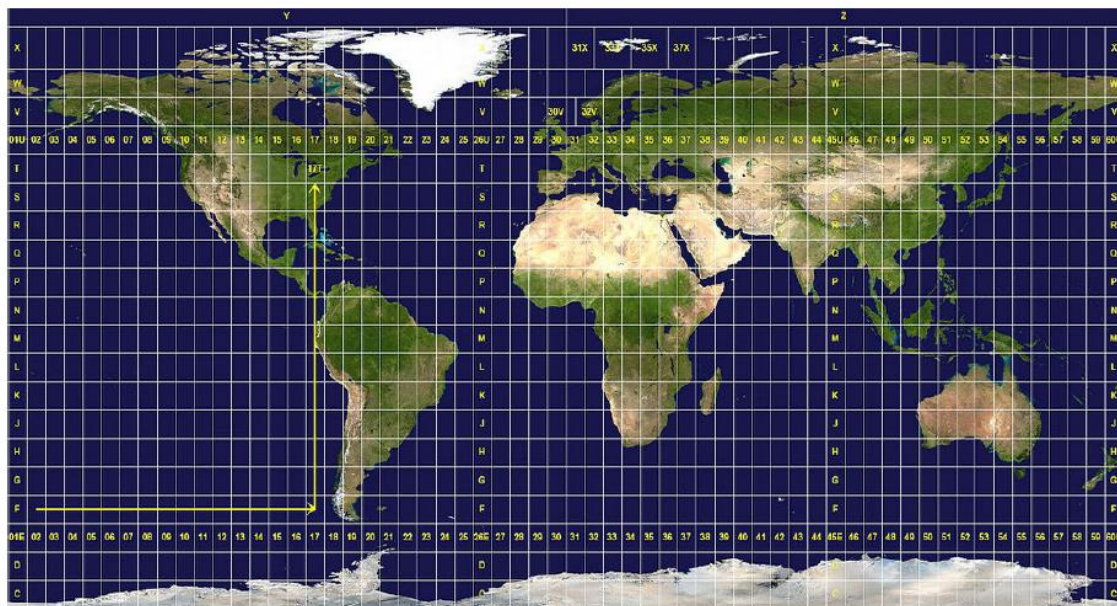


Figura 2.9 Cuadrícula UTM, zona 16.

Fuente: Ing. W. Amaya Zelaya "GPS aplicado a Proyectos de Ingeniería Civil"

Parámetros para la proyección UTM Zona 16

PROYECCION UNIVERSAL DE MERCATOR UTM ZONA 16	
Proyección	WGS -84
Coordenadas de entrada	Latitud ϕ y longitud λ referida a WGS-84
Elipsoide	WGS-84/GRS80
Semieje mayor	a= 6378137 m
Semieje menor	b=6356752.31414 m
Achatamiento	1/f= 298.257222101
Excentricidad	e ² = 0,0066943800229
Parámetros de la proyección	
Falso Este	500 000,00 m
Falso Norte	0 m
Paralelo de origen	0° 0' 0" N
Meridiano de origen	87° 0' 00" W
Factor de escala en el meridiano origen	0.99960000
DATUM WGS-1984	
Tx= 0 Ty= 0 Tz= 0	

Tabla 2.1 Parámetros de proyección UTM, zona 16.

Fuente: Ing. W. Amaya Zelaya "GPS aplicado a Proyectos de Ingeniería Civil"

En El Salvador las coordenadas planas se denominan Universal Transversal de Mercator Zona 16 N y Cónica Conformal de Lambert, siendo esta última la de uso oficial y a la cual se hará referencia más adelante.

2.3 Sistema Geodésico de Referencia

Un Sistema de Referencia Geodésico se define como un recurso matemático y conceptual de teorías e hipótesis, a través de los cuales se asignan coordenadas sobre cualquier punto de la tierra. Estas coordenadas se muestran como una tripleta de ejes en el espacio definidas por su origen y orientación. Son ampliamente utilizados en

topografía, geodesia, navegación, cartografía y sistemas globales de navegación por satélites debido a la correcta georreferenciación que proporcionan.

Todo sistema de referencia se define por dos elementos que son el elipsoide de referencia y datum de referencia.

- **Elipsoide de Referencia**

Se define como un modelo matemático en forma de sólido de revolución que representa matemáticamente la forma de la tierra, es utilizado como una superficie ideal que permite eliminar ambigüedades que introduce el geoide del planeta en la estimación de distancias y posición de un punto sobre la superficie terrestre (Figura 2.10).

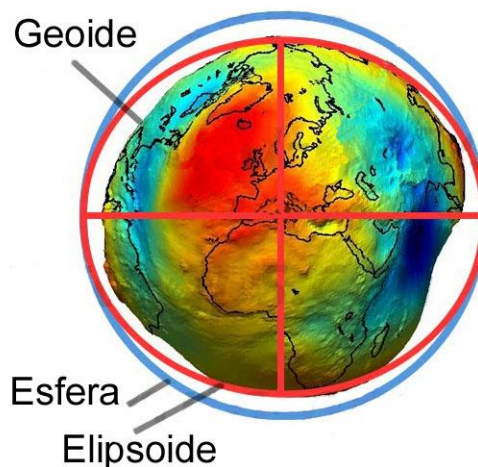


Figura 2.10 Representación del geoide y elipsoide.

Fuente: Albireo Topografía y Geomática. <http://www.albireotopografia.es>

Los parámetros que definen un elipsoide son los siguientes

- Semieje ecuatorial o mayor (a): longitud del semieje correspondiente al ecuador, desde el centro de masas de la Tierra hasta la superficie terrestre.
- Semieje polar o menor (b): longitud del semieje desde el centro de masas de la Tierra hasta uno de los polos.

- Relación de achatamiento (f): es la medida de la excentricidad, su ecuación es $f = (a-b) / a$

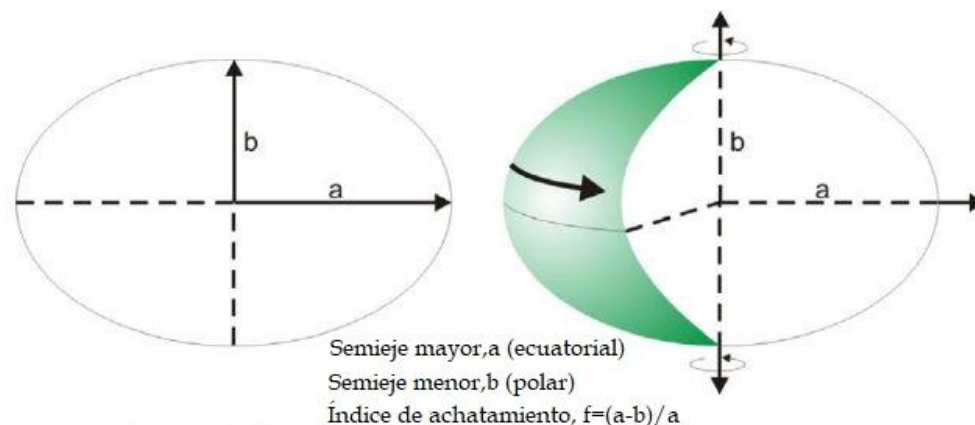


Figura 2.11 Parámetros de un elipsoide.

Fuente: Sistemas de Referencia, <https://unisigzayrao.blogspot.com>

El elipsoide es la figura geométrica más simple que puede ajustarse a la forma real de la tierra que como se puede observar (Figura 2.10), es un cuerpo irregular achatado por los polos. Estas irregularidades han llevado a la creación de una gran cantidad de modelos elipsoidales, los cuales son adoptados por cada país de acuerdo a sus características. En El Salvador se utilizó el elipsoide Clarke 1866 hasta febrero de 2017 y a partir de esa fecha se estandarizó el elipsoide WGS-84 o GRS-80 en todos los trabajos geodésicos, cartográficos y fotogramétricos

Algunos de los elipsoides más utilizados en diversas partes del mundo y sus parámetros se presentan en la tabla 2.2

Elipsoide	Semieje mayor	Semieje menor	1/f	Región
Australian National	6378160.000	6356774.719	298.250000	Australia
Bessel 1841	6377397.155	6356078.963	299.152813	Japón
Clarke 1866	6378206.400	6356583.800	294.978698	Norteamérica

Clarke 1880	6378249.145	6356514.870	293.465000	Francia, África
Everest 1956	6377301.243	6356100.228	300.801700	India
Fischer 1968	6378150.000	6356768.337	298.300000	EE UU
GRS 1980	6378137.000	6356752.314	298.257222	Europa
International 1924 (Hayford)	6378388.000	6356911.946	297.000000	Gran Bretaña
South American 1969	6378160.000	6356774.719	298.250000	Suramérica
WGS 72	6378135.000	6356750.520	298.260000	Mundial
WGS 84	6378137.000	6356752.314	298.257224	Mundial

Tabla 2.2 Algunos elipsoides y sus parámetros característicos.

Fuente: M.A Cañas Meléndez, "Formulación de datos cartográficos necesarios para la construcción del geoide en El Salvador"

- Datum de Referencia

El datum es definido como un conjunto de cantidades matemáticas o geométricas que sirven de referencia o base a otras cantidades, sobre la superficie terrestre el datum sirve para definir el origen y situación de un sistema de coordenadas.

Los datum pueden ser locales y geocéntricos

- Datum local: funciona como un punto de anclaje en la que la normal del geoide coincide con el elipsoide (Figura 2.12) y es válido para una zona de la tierra.

Ejemplo : NAD27

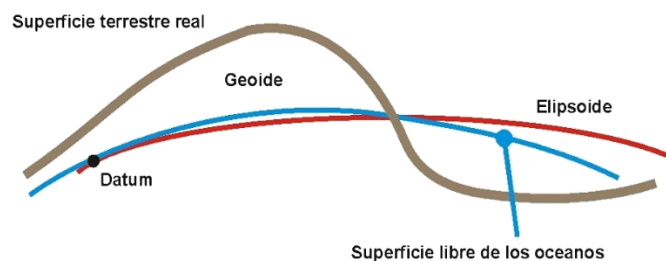


Figura 2.12 Representación del datum local.

Fuente: R. Villa Caro, "El datum, el geoide, el elipsoide y la Cartografía"

- Datum geocéntrico: también es conocido como datum global, se define por el tamaño, forma y orientación de un elipsoide y está referido al centro de masa de la tierra (Figura 2.13). Ejemplo : WGS-84

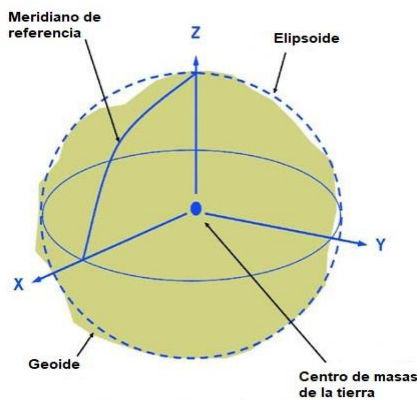


Figura 2.13 Datum geocéntrico.

Fuente: *Geoide de campo gravitatorio medio*, <https://www.researchgate.net>

Los datum también son clasificados en datum horizontales y verticales, los cuales se definen a continuación:

- Datum horizontal: es utilizado como punto de partida para coordenadas planas de una región.
- Datum vertical: a través de este se miden las elevaciones o profundidades, se define como la altura y es representado por las aguas marinas en reposo por debajo de los continentes.

2.4 Sistema Geodésico Mundial WGS-1984

En la mayoría de trabajos de Ingeniería Civil, sobre todo en el área de Topografía y Geodesia donde la precisión es fundamental, es utilizado el sistema de posicionamiento global (GPS), por esta razón se debe tener conocimiento sobre el Sistema Geodésico Mundial 1984 o WGS-84.

World Geodetic System WGS-84, es un sistema de coordenadas geográficas usado mundialmente, el cual permite localizar cualquier punto en la tierra. Su desarrollo surge de la necesidad de crear un sistema geodésico de referencia compatible con los Sistemas de Posicionamiento Global GPS, siendo esta su principal ventaja respecto a los sistemas de referencia locales. Durante sus inicios fue establecido para determinar las coordenadas de los satélites Doppler (WGS72), y fue hasta 1984 cuando se adoptó para las órbitas de los satélites NAVSTAR-GPS.

WGS-84 es un estándar en geodesia, cartografía y navegación y se estima que su error de cálculo es menor a los 2 cm, razón por la que sirve de base al sistema GPS. Además su desarrollo se basa en la unificación de modelos de elipsoide global y datum global, los cuales se han creado debido a la mejora de las capacidades informáticas y la tecnología GPS, que por medio de ondas de radio transmitidas por los satélites, permiten mediciones extremadamente precisas de la Tierra, ambos comparten su mismo nombre Datum WGS-84 y Elipsoide WGS-84 (Figura 2.14).

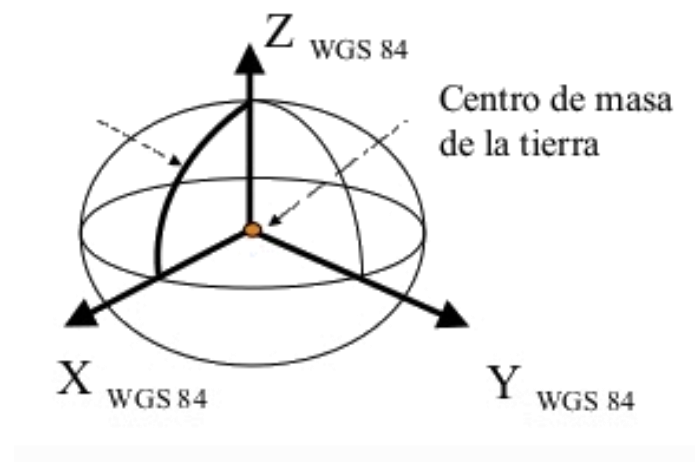


Figura 2.14 Elipsoide WGS-84.

Fuente: Ing. W. Amaya Zelaya "GPS aplicado a Proyectos de Ingeniería Civil"

Al igual que el elipsoide WGS-84, existen otros elipsoides globales como WGS-72 y GRS-80 cuyo origen es el centro de masa de la tierra.

2.5 Sistema Geodésico de Referencia NAD27

El datum horizontal es un modelo que permite la determinación de posiciones de un punto en la tierra, lo que significa que las coordenadas del mismo serán sustancialmente diferentes a medida que se utilice un datum u otro durante la medición. Existe una gran cantidad de referencias horizontales locales, las cuales son utilizadas a conveniencia de acuerdo a la región en la que se encuentren. En esta región específica el datum más conocido es sin duda el Datum Norteamericano de 1927.

El North American Datum 1927 NAD27, como su nombre lo indica, fue desarrollado en 1927 y posiciona su estación fundamental de triangulación o punto de origen en Estados Unidos, en Meades Ranch Kansas y es referido al elipsoide Clarke de 1866.

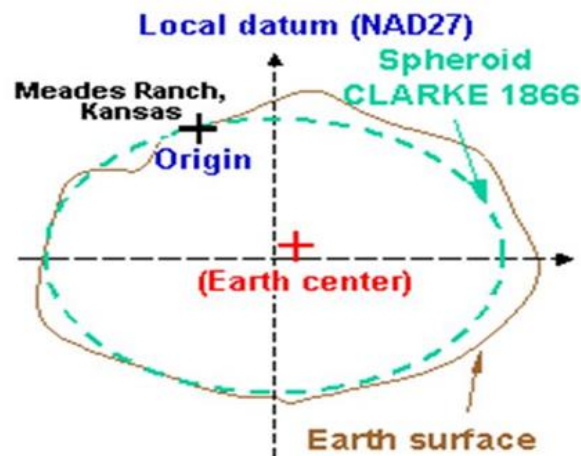


Figura 2.15 Datum NAD27.

Fuente: *Understanding Coordinates*, <https://slidetodoc.com>

El Datum Norteamericano fue designado como base para la red geodésica primaria, mediante triangulación y levantamientos geodésicos que se extienden en todas las

direcciones desde el norte de Alaska, pasando por Canadá, sur de México, América central y las Antillas, así conformando un sistema único de apoyo a la cartografía de todas estas áreas geográficas.

En el año de 1962, El Salvador adoptó el datum NAD27, asociado al elipsoide de Clarke1866, debido a que ofrecía por aquel entonces una mejor precisión, por lo que toda la información cartográfica y geodésica antigua está referida a este datum (Figura 2.16)



Figura 2.16 Escala de datum NAD27.

Fuente: Propia

El datum norteamericano, al ser un datum solamente bidimensional, es decir no incluye la coordenada de altura, es definido por parámetros puramente geométricos y de naturaleza local, lo que hace que presente la desventaja de ser incompatible con los sistemas de posicionamiento global modernos como lo es el GPS. Además de presentar ciertas inconsistencias en algunas zonas debido a que la ampliación y densificación de su red de puntos fue realizada con métodos geodésicos tradicionales.

Algunos elipsoides y datum de referencia más conocidos se muestran en la tabla 2.3

Nombre de elipsoide	Año	a, metros	f, aproximado	Datum
Bessel	1841	6377397	299.153	Tokio
Clarke	1866	6378206	294.187	NAD27
Krassovsky	1936	6378245	298.300	Pulkovo
WGS72	1972	6378135	298.260	WGS72
GRS80	1980	6378137	298.257	NAD83
WGA84	1984	6378137	298.257	WGS84

Tabla 2.3 Elipsoides y datum.

Fuente: Ing. W. Amaya Zelaya "GPS aplicado a Proyectos de Ingeniería Civil"

2.5.1 Proyección Cartográfica Cónica Conformal de Lambert Secante

La Proyección Cartográfica Cónica Conformal de Lambert Secante es la proyección cartográfica más famosa de las proyecciones cónicas, fue presentada por el matemático, físico, filósofo y astrónomo francés Johann Heinrich Lambert en 1772.

Anteriormente se ha definido una proyección cónica, como aquella donde un cono se superpone sobre la esfera de la tierra, con dos paralelos secantes al globo e intersecándolo (Figura 2.17), lo que minimiza las distorsiones causadas de proyectar una superficie tridimensional a una bidimensional. Como su nombre lo indica se trata de una proyección conforme, es decir, que mantiene la forma de la tierra y no provoca distorsión de los ángulos.

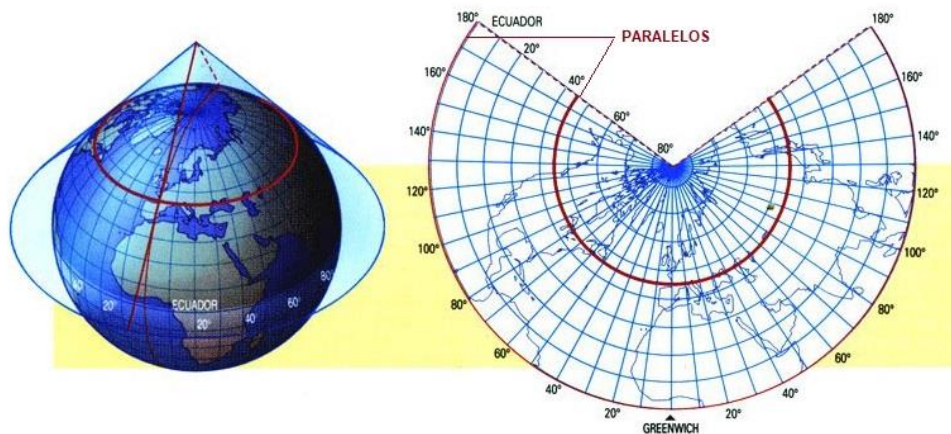


Figura 2.17 Superposición del cono sobre el globo terráqueo, Proyección Cónica Conformal de Lambert.

Fuente: <http://gea.ciens.ucv.ve>

Algunas de las características más importantes de la proyección Lambert son las siguientes:

- El factor de escala es constante en los paralelos base, decreciendo en el área entre estos y aumentando al alejarse de ellos.
- Los paralelos son círculos concéntricos, espaciados de manera tal que la distancia entre estos es menor al centro del mapa, es decir aumentan a medida que se alejan de los polos.
- Los meridianos son radios de los círculos anteriores, y cortan a los paralelos en ángulo recto.
- Los ángulos entre meridianos en la proyección son más pequeños que los correspondientes en el globo terráqueo.
- Es una proyección cónica secante normal.
- Por sus características, su uso es adecuado para la representación de áreas que se extienden de Este a Oeste con poca variación en latitud, (latitud media).
- Su uso es habitual en mapas de escala 1:500.000, así como para cartas aeronáuticas a una escala similar.

En el Sistema de Referencia Geodésico antiguo de El Salvador, se utilizaba la Proyección Cónica Conformal de Lambert asociada al elipsoide Clarke 1866.

Parámetros de la Proyección Cónica Conformal de Lambert Secante

PROYECCION CONICA CONFORMAL DE LAMBERT SECANTE	
Proyección	Lambert
Coordenadas de entrada	Latitud ϕ y longitud λ
Elipsoide	Clark 1866
Semieje mayor	a= 6378206,4 m
Semieje menor	b=6356583,8 m
Achatamiento	1/f=294,97869821390
Excentricidad	e ² = 0,006 768 657 997 291
Parámetros de la proyección	
Falso Este	500 000,000 m
Falso Norte	295 809,184 m
Paralelo de origen	13° 47' N (valor en NAD27)
Meridiano de origen	89° 00' W(valor en NAD27)
1. Paralelo estándar	13° 19' N (valor en NAD27)
2. Paralelo estándar	14° 15' N (valor en NAD27)
Factor de escala en el meridiano oriente	0.99996704
PARAMETROS DE TRANSFORMACION DATUM NAD 27 AMERICA CENTRAL	
Tx= 0 Ty= 125 Tz= 194	

Tabla 2.4 Parámetros de Proyección Cónica Conformal de Lambert, NAD27.

Fuente: Ing. W. Amaya Zelaya "GPS aplicado a Proyectos de Ingeniería Civil"

2.6 Sistema Geodésico de Referencia SIRGAS-ES2007

Existe una gran variedad de Sistemas de Referencia de Coordenadas, de los cuales puede haber muchos aplicables a zonas específicas, sin embargo, solo uno es de uso oficial. En nuestro país antiguamente se utilizaba NAD27 referido al elipsoide Clarke 1866 y aunque también es aplicable el UTM16N, el Sistema de Referencia oficial es SIRGAS (Sistema de Referencia Geodésico para las Américas), el cual usa un elipsoide

GRS80 y el sistema de proyección cónico conforme de Lambert, misma utilizada por el NAD27.

SIRGAS comenzó siendo el Sistema de Referencia Geocéntrico para América del Sur, sin embargo, en el año 2000 fue extendido al Caribe, Norte y Centro América convirtiéndose en el Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas y conservando su acrónimo.

El sistema SIRGAS, como sistema de referencia se define idéntico al Sistema Internacional de Referencia Terrestre ITRS y como marco de referencia es una densificación regional del Marco Internacional de Referencia Terrestre ITRF. Además sus coordenadas están referidas a una época específica, tomando en cuenta sus variaciones a través de las velocidades individuales de dichas estaciones o mediante un modelo de velocidades con cobertura en todo el continente.

Para entender mejor el párrafo anterior es necesario conocer las siguientes definiciones

- ITRS (International Terrestrial Reference System): es un sistema de referencia ideal constituido como un conjunto de convenciones (constantes, modelos, parámetros, etc.), que sirve como base para la representación de la geometría de la superficie de la tierra y su variación en el tiempo. Dado que es definido como un concepto o idea, este sistema debe ser asociado a un marco de referencia para su materialización a través de marcas físicas (vértices geodésicos) y matemáticas.
- ITRF (International Terrestrial Reference Frame): es la materialización del ITRS, es decir es un conjunto de puntos con sus coordenadas cartesianas tridimensionales que dan cuenta de un sistema de referencia ideal, ITRS.

La materialización del sistema SIRGAS inició mediante dos campañas GPS, SIRGAS95 con 58 estaciones y SIRGAS2000 con 84 estaciones de referencia. En la actualidad está materializado por una red de estaciones GNSS de funcionamiento continuo con coordenadas de alta precisión (asociadas a una época específica de referencia) y sus cambios a través del tiempo (velocidades de las estaciones). Esta red, llamada SIRGAS-CON, está compuesta actualmente por aproximadamente 400 estaciones distribuidas en América Latina y es procesada rutinariamente por los Centros de Análisis SIRGAS con el fin de proporcionar una realización precisa y actual del marco de referencia (Figura 2.18).



Figura 2.18 Red SIRGAS-COM.

Fuente: <http://www.sirgas.org/es/sirgas-con-network/stations>

La extensión del marco de referencia SIRGAS está dada a través de densificaciones nacionales, las cuales a su vez sirven de marcos de referencia local.

El Marco de Referencia de El Salvador es una red de base GPS de 38 estaciones (Figura 2.19). Fue medido por el Departamento de Levantamiento de Control Geodésico del Instituto Geográfico y del Catastro Nacional (IGCN) dependencia del Centro Nacional de Registro (CNR) utilizando posicionamiento GPS diferencial en subredes parciales y en 36 sesiones diarias entre octubre y diciembre de 2007. La mayoría de las estaciones de referencia fueron determinadas junto con un punto de control secundario para garantizar la estabilidad a largo plazo de la red. Esta red se denomina SIRGAS-ES2007.8: SIRGAS El Salvador 2007.8 y, dado que SIRGAS es una densificación regional del ITRF, SIRGAS-ES2007.8 es la densificación nacional de SIRGAS en El Salvador, la cual proporciona al país un marco de referencia confiable y compatible con las tecnologías GNSS.

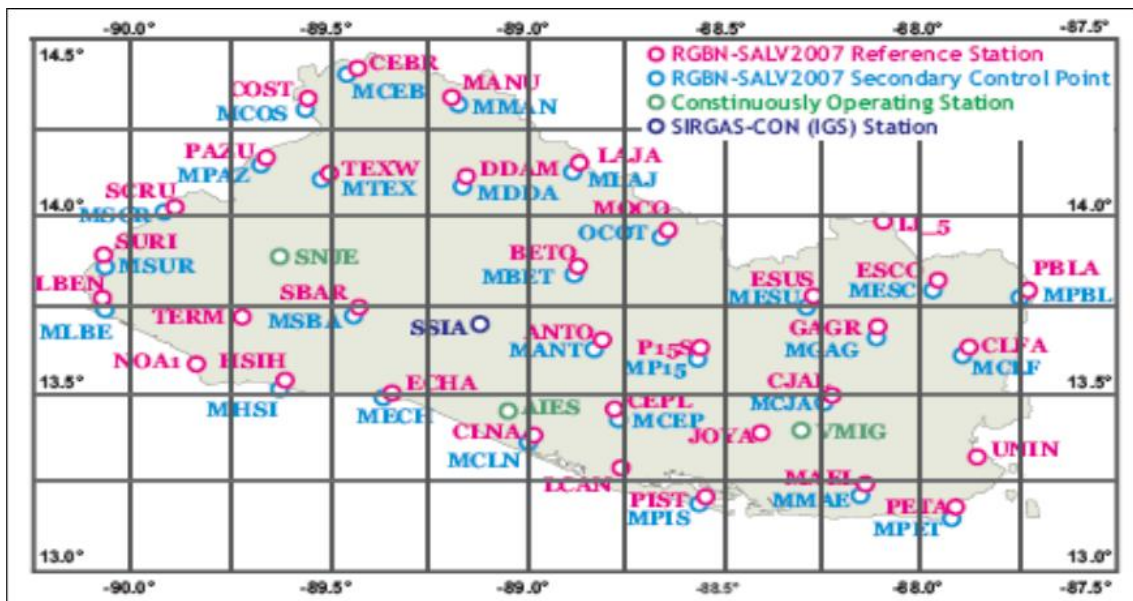


Figura 2.19 Red Geodésica Básica Nacional de El Salvador, SIRGAS-ES2007.

Fuente: Ing. W. Amaya Zelaya "GPS aplicado a Proyectos de Ingeniería Civil"

2.6.1 Proyección Cartográfica Cónica Conformal de Lambert SIRGAS-ES2007

Las proyecciones cónicas como antes fueron mencionadas tienen paralelos circulares y meridianos radiales y son adecuadas para representar zonas de latitudes medias. En

EL Salvador, se utilizó la proyección Cónica Conforme Lambert asociada al elipsoide Clarke 1866 hasta el año 2017.

Anteriormente se mencionó que a partir del año 2017 fue aprobado, por el Instituto Geográfico Nacional la nueva Proyección Cartográfica denominada Proyección Cónica Conforme Lambert SIRGAS-ES2007, la cual está vinculada al nuevo Sistema Geodésico de Referencia de El Salvador, SIRGAS-ES2007. Tanto el Sistema de Referencia Geodésico como la Proyección Cartográfica fueron aprobados y certificados por la ASOCIACION INTERNACIONAL DE GEODESIA.

Parámetros de la Proyección Cónica Conformal de Lambert SIRGAS-ES2007

PROYECCION CONICA CONFORMAL DE LAMBERT SIRGAS-ES2007	
Proyección	Lambert SIRGAS-ES2007
Coordenadas de entrada	Latitud ϕ y longitud λ referida a WGS-84
Elipsoide	WGS-1984/GRS80
Semieje mayor	a= 6378137 m
Semieje menor	b=6356752.31414 m
Achatamiento	1/f=298.257222101
Excentricidad	$e^2= 0,0066943800229$
Parámetros de la proyección	
Falso Este	500 000,000 m
Falso Norte	295 809,184 m
Paralelo de origen	13° 47' 03.477624" N (valor en SIRGAS)
Meridiano de origen	88° 59' 59.938692" W(valor en SIRGAS)
1. Paralelo estándar	13° 19' 03.477624"N (valor en SIRGAS)
2. Paralelo estándar	14° 15' 03.477624"N (valor en SIRGAS)
Factor de escala en el meridiano oriente	0.99996704
DATUM SIRGAS-ES2007	
Tx= 0 Ty= 0 Tz= 0	

Tabla 2.5 Parámetros de Proyección Cónica Conformal de Lambert, SIRGAS-ES2007.

Fuente: Ing. W. Amaya Zelaya "GPS aplicado a Proyectos de Ingeniería Civil"

CAPITULO III

SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL

3.1 Antecedentes del Sistema de Posicionamiento Global

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS; en inglés, Global Positioning System), tiene su origen a partir de la década de los 60's y ha sido uno de los avances más importantes que ha impulsado la geodesia espacial. El desarrollo de este sistema de posicionamiento fue motivado por el lanzamiento del primer satélite artificial de la Tierra: el Sputnik I, llevado a cabo por la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas, URSS en octubre de 1957. El Efecto Doppler de la señal transmitida por este satélite permitió su monitoreo y el establecimiento de su órbita, de forma inversa sería utilizado el estudio de esta frecuencia para determinar ubicaciones en tierra, es decir, si la órbita era conocida previamente sería posible obtener la posición de un receptor en una ubicación cualquiera; estos acontecimientos dieron inicio a una serie de investigaciones orientadas a desarrollar y perfeccionar los métodos básicos de observaciones satelitales y el cálculo de órbitas, dirigidos a implementar sistemas de posicionamiento y de determinación del campo de gravedad terrestre, permitiendo la creación del primer sistema de posicionamiento geodésico.

El Departamento de Defensa (DoD) de Estados Unidos pone en marcha el sistema GPS en diciembre de 1973, originalmente como una implementación del programa NAVSTAR, GPS (Navigation System Timing And Ranging, Global Positioning System) y tendría como objetivo principal la determinación de las coordenadas espaciales de puntos respecto de un sistema de referencia mundial. Estos puntos podrían estar ubicados en cualquier lugar del planeta, además de permanecer estáticos o en movimiento y las observaciones podrían realizarse en cualquier momento del día.

(Huerta, Mangiaterra y Noguera, 2005), además sería desarrollado para fines militares proveyendo a la armada estadounidense un sistema de navegación para sus flotas de observaciones, con posiciones actualizadas y precisas. Su mantenimiento estaría a cargo de la División del Sistema Espacial de dicho departamento.



Figura 3.1 Operadora de satélites, Base Aérea de Schriever.

Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/GPS>

Los primeros satélites de la constelación GPS serían puestos en órbita entre los años de 1974 y 1977, estos formaban parte de la denominada fase I, años más tarde en diciembre de 1993 se declaró la capacidad inicial del sistema, con el que ya se podían mantener los niveles requeridos de precisión y disponibilidad, el sistema GPS concretó su operatividad total el 17 de julio de 1995, para entonces el sistema estaba conformado por 24 satélites.



Figura 3.2 Lanzamiento de satélites de la constelación NAVSTAR mediante un cohete Delta.

Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki/GPS>

Si bien, el sistema GPS tendría usos estrictamente militares, esto cambiaría en el año de 1984, el derribo del vuelo comercial KAL007 de Korean Airlines por parte de un caza Sub-15 soviético, al haber invadido por error el espacio aéreo de la Unión Soviética marcó uno de los momentos más decisivos de la guerra fría; este error en el que 269 personas perdieron la vida llevó a que la administración del presidente Ronald Reagan permitiera a usuarios civiles cierto uso del GPS, y finalmente este programa que fue concebido como un instrumento bélico pasó a ser de uso global y hoy en día es una herramienta accesible para todos los niveles de la población.

3.2 Definición del Sistema

El Sistema de Posicionamiento Global GPS es un sistema de geolocalización considerado uno de los avances tecnológicos más importantes de la época moderna. La tecnología de posicionamiento global se ha venido consolidando a través de los años, se ha popularizado y aumentado su aplicabilidad en diferentes campos de la tecnología de información, siendo el sistema GPS un ejemplo claro de esto, ya que gracias a la utilidad y versatilidad para la determinación de ubicaciones precisas de puntos geográficos sobre la tierra, pasó a ser de uso estrictamente militar a implementarse al ámbito civil, siendo actualmente, uno de los instrumentos más útiles con que cuenta el ser humano.

Fundamentos del sistema GPS

Principio de Trilateración

Actualmente el sistema GPS, funciona en base a una constelación de 31 satélites, que orbitan a una altura de 20,200 kilómetros en seis planos orbitales. Su funcionamiento está basado en la técnica llamada trilateración, la cual se explica a continuación:

En esta técnica, los satélites son considerados puntos de referencia en el espacio, primero se toma la señal de un sólo satélite, una vez que el receptor GPS fija la ubicación de éste, determina la distancia entre ambos (satélite- receptor), esto nos indica que el receptor puede estar ubicado en cualquier punto en la superficie en una esfera de radio R_1 (Figura 3.3)



Figura 3.3 Señal GPS, esfera generada por la distancia R_1 .

Fuente: <https://acolita.com> y <http://hydrogen.physik.uni-wuppertal.de>

Al medir la distancia de un segundo satélite hacia el mismo receptor, se generará una esfera de radio R_2 , el cual al ser interceptado con la primera esfera, crea un círculo, en cuyo perímetro se encontraría ubicado el receptor (Figura 3.4).

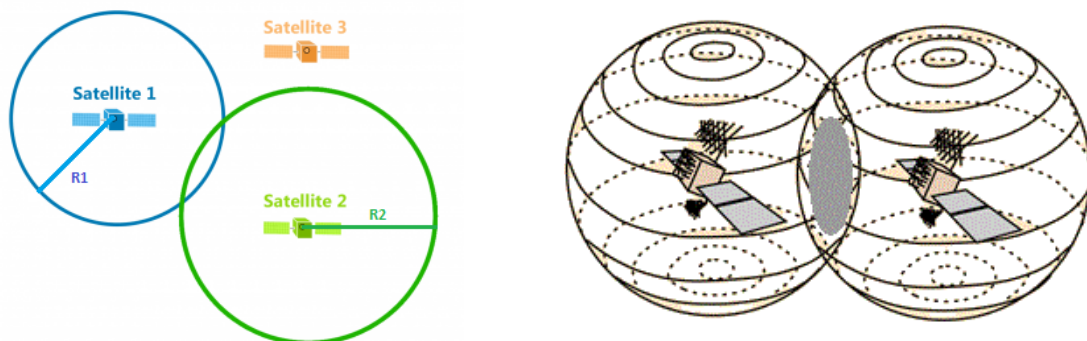


Figura 3.4 Medición GPS con incorporación de un segundo satélite con una distancia R_2 .

Fuente: <https://acolita.com> y <http://hydrogen.physik.uni-wuppertal.de>

Cuando el receptor capta una tercera señal, otra esfera es formada y siguiendo el mismo razonamiento, la intersección de la nueva esfera junto a las dos anteriores se ve reducida únicamente a dos puntos, de los cuales uno será descartado, ya sea por estar fuera del espacio o por moverse a una velocidad muy elevada, es decir que el receptor en base a recursos matemáticos de posicionamiento toma como posición correcta el punto situado sobre la tierra (Figura 3.5).

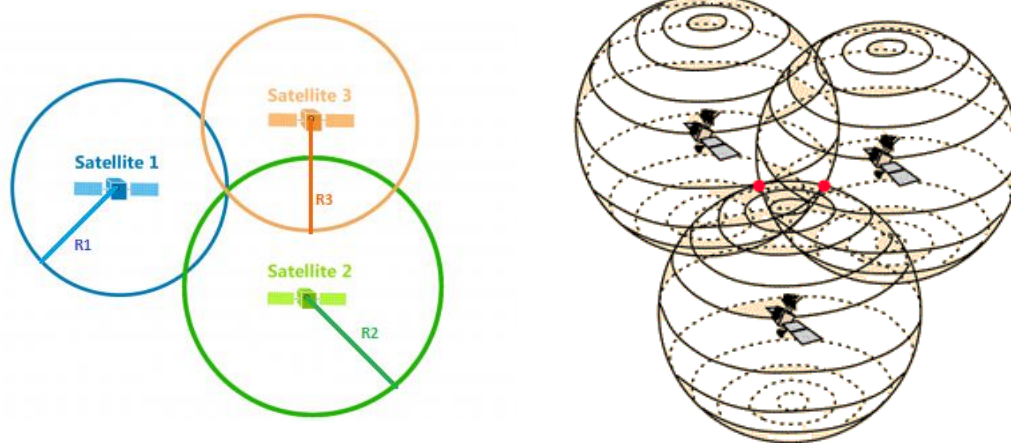


Figura 3.5 Medición GPS con 3 satélites.

Fuente: <https://acolita.com> y <http://hydrogen.physik.uni-wuppertal.de>

Una vez que el receptor haya ejecutado los procesos anteriores, define los valores correspondientes a la longitud y latitud del punto de interés. Sin embargo, en la práctica, una cuarta medición es necesaria para sincronizar y corregir los errores de los relojes atómicos de los satélites, ya que no existe sincronización entre estos y el reloj del receptor, de lo contrario los puntos de intersección, no pueden ser considerados precisos. Habiendo solucionado este problema, es matemáticamente posible obtener a través del receptor, la posición exacta del punto en cuestión dado por los parámetros de latitud, longitud y altitud elipsoidal, (x, y, z) .

Una mejor forma de comprender lo expresado anteriormente es la siguiente: la clave en el funcionamiento del sistema está en los relojes atómicos incorporados en cada uno de los satélites, los cuales son ultraprecisos (y muy caros) y el reloj contenido en el receptor, que por el contrario carece de esta precisión. Si bien, cuando se tiene una medición con tres esferas, siempre habrá un punto de intersección coherente que intercepta con el planeta, existirán retardos en la señal, producidos por rebotes o interferencias indeseados durante su recorrido, una cuarta esfera creada por la medición de un cuarto satélite, permite identificar y cuantificar este retardo, de modo que se puedan compensar los tiempos de llegada a la señal del receptor (Figura 3.6).

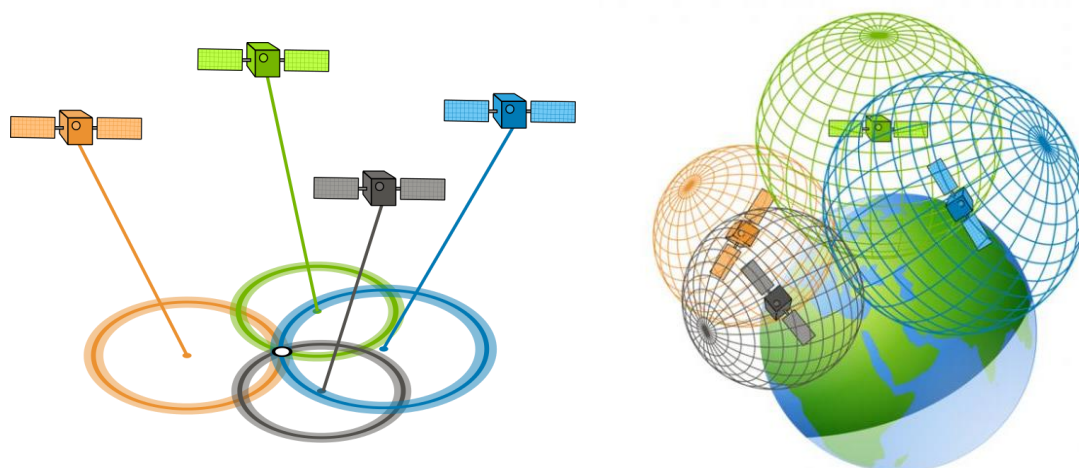


Figura 3.6 Medición GPS con 4 satélites.

Fuente: <https://acolita.com>

Medición de distancia desde los satélites

La distancia entre satélites se calcula midiendo el tiempo que tarda una señal de radio, emitida por el mismo, hasta alcanzar al receptor GPS. Al ser la velocidad de radio un dato conocido, la distancia se determina por medio de la ecuación del Movimiento con Velocidad Uniforme.

$$D = v * t$$

Donde

D = distancia entre el satélite y el receptor, en kilómetros

v = velocidad de la señal de radio, aproximadamente la velocidad de la luz

$v = 300,000$ km/s

t = tiempo de viaje de la señal, en segundos

El tiempo es una variable a considerar, puesto que es un poco difícil de calcular, debido a que, se necesita conocer el momento exacto en que la señal de radio sale del satélite y el momento exacto en que llega al receptor.

La señal satelital es modulada a partir de dos códigos, estos son: el código C/A (o Código de Adquisición Gruesa, que modula a 1.023 MHz) y el código P (o Código de Precisión que modula a 10.23 MHz). Para el cálculo del tiempo será necesaria la generación de estos códigos, llamados también, códigos pseudoaleatorios, tanto en el satélite como en el receptor, los cuales deberán contar con señales sincronizadas, de modo que, el receptor deberá comparar el código recibido con el código generado, midiendo la diferencia de tiempo entre partes iguales del código (Figura 3.7). Esta diferencia o desfase de tiempo (ΔT), representa el tiempo de viaje de la señal, el cual deberá ser multiplicado por la velocidad de la señal de radio (velocidad de la luz) para encontrar el valor de la distancia entre satélites.

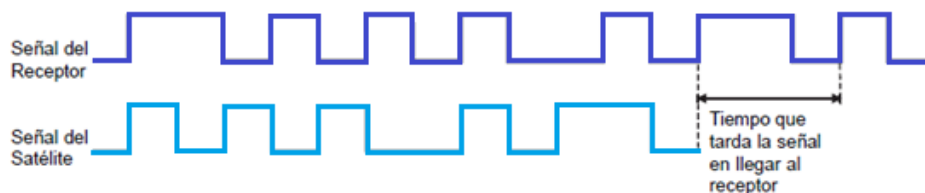


Figura 3.7 Esquema del viaje de la señal GPS en el tiempo.

Fuente: <https://www.euskadi.eus>

Medición precisa del tiempo

Se ha determinado que el tiempo promedio que tarda la señal en viajar desde un satélite que se encuentra orbitando a una distancia de 20,200 kilómetros desde la tierra es de 0.067 segundos. Si bien ésta medición es compleja debido a factores como: distancias relativamente cortas y grandes velocidades en las señales de radio, es posible su determinación gracias a los relojes atómicos de gran precisión incorporados en los satélites, los cuales emiten cada cierto tiempo una señal en la que marcan su hora respectiva.

“Los satélites portan relojes atómicos con precisiones de un nanosegundo, pero colocar este tipo de relojes en los receptores sería muy costoso. Para solucionar este problema los receptores corrigen los errores en la medición del tiempo mediante una medición a un cuarto satélite.” (Casanova, L. nd)

Conocimiento preciso de la órbita del Satélite

Conocer la posición de los satélites es muy importante para determinar la ubicación exacta de un receptor. Los satélites de la constelación GPS orbitan la tierra cada 12 horas a una altura de 20,200 kilómetros, distribuidos en seis planos orbitales con inclinaciones de 55° respecto al ecuador. Estos satélites son monitoreados constantemente por el Ministerio de Defensa de los Estados Unidos (DoD) a través de sus cinco estaciones de seguimiento y control distribuidas alrededor del mundo, las cuales proveen a una estación de control maestra, los datos necesarios para calcular la posición de los satélites en las orbitas (efemérides), los coeficientes de corrección de los relojes, etc. información que posteriormente deberá ser transmitida a cada uno de los satélites.

Corrección de errores en la propagación de la onda

Una de las presunciones básicas hechas en páginas anteriores es que podemos calcular la distancia entre el receptor y un satélite utilizando la velocidad de la luz, esta afirmación no es del todo posible porque la velocidad de la luz sólo es constante en el vacío. Una señal GPS deberá cruzar además, la ionósfera, que contiene partículas cargadas y la tropósfera, con alto contenido de vapor de agua, esto causa demoras en la señal, las cuales se traducen en errores de posicionamiento.

Este tipo de errores pueden ser minimizados de dos formas: la primera consiste en la aplicación de modelos matemáticos, prediciendo el tipo de error en un día promedio, sin embargo, las condiciones atmosféricas raramente se ajustan a un promedio previsto; para tal caso puede considerarse la segunda forma, la cual se basa en la comparación de la velocidad relativa de dos señales diferentes y establece que la desaceleración de una onda es inversamente proporcional al cuadrado de la frecuencia.

3.3 Componentes del Sistema GPS

El Sistema de Posicionamiento Global GPS, está estructurado además de los satélites en órbita, de un receptor de señal y un sistema de control sobre éstos; de esta manera se han determinado tres componentes o segmentos fundamentales que son:

- 1.- Segmento Espacial.
- 2.- Segmento de Control
- 3.- Segmento Usuario

Segmento espacial

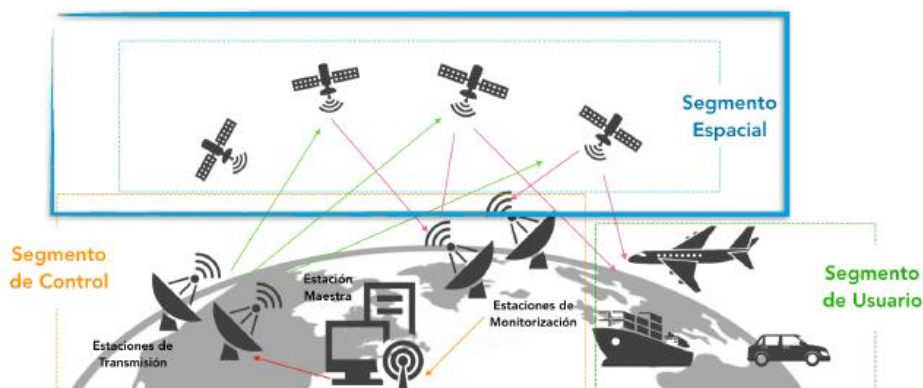


Figura 3.8 Segmentos del sistema, Segmento Espacial.

Fuente: S. Vilchez Benigno "Descripción y representación de las señales GNSS".

El segmento espacial del sistema GPS consiste en 24 satélites con trayectorias sincronizadas que giran en órbitas circulares medias (MEO- Medium Earth Orbit), ubicadas aproximadamente a 20,200 km de altura respecto al globo terrestre y su tiempo en completar la órbita es de 12 horas siderales (o sea 11 horas 58 minutos), completando dos vueltas en 24 horas siderales (o 23 horas 56 minutos). Estos satélites se encuentran distribuidos en 6 planos orbitales de 4 satélites cada uno y cubren toda la superficie de la Tierra, su grado de inclinación respecto al ecuador es de 55° , y para su funcionamiento hacen uso de energía eléctrica adquirida a través de paneles solares adosados a cada uno de sus costados.

Para garantizar una mejor aplicación de la tecnología GPS este segmento se ha diseñado de forma que se pueda tener acceso a por lo menos 4 satélites visibles como mínimo.

La planificación de la constelación GPS se ha llevado a cabo a través de bloques pertenecientes a diferentes generaciones tecnológicas, cada uno de ellos presenta además diferentes diseños y capacidades acorde a los años en que fueron ejecutados;

pero siguiendo el mismo principio de funcionamiento. Además cada satélite está equipado con relojes atómicos precisos que operan con una frecuencia de 10.23 MHz, utilizada para generar su señal de transmisión.

Bloque I: este corresponde a la fase de experimentación del sistema, y contiene el lanzamiento (desde la base aérea Vandenberg en California) de 11 satélites entre los años 1978 y 1985. Como resultado de estos lanzamientos se obtuvo una constelación de 10 satélites, fallando uno de ellos, de estos 4 estaban equipados con relojes de atómicos de cuarzo, 3 de rubidio y 3 de cesio. Algunos de ellos tuvieron una duración mayor a la vida útil de diseño que sería de 5 años.

Bloque II: el lanzamiento de este grupo de satélites se da como una sustitución progresiva de los satélites pertenecientes al bloque anterior, en los que se incluyeron todo tipo de mejoras necesarias para optimizar el funcionamiento del sistema, alargando la vida útil y la fiabilidad de los satélites, asimismo se permitió la incorporación de la Disponibilidad Selectiva (SA), la cual consiste en una señal de perturbación que permite intencionalmente disminuir la precisión de los datos por cuestiones de interés militar. Este bloque estuvo conformado por 9 satélites provistos de relojes atómicos de rubidio o cesio y sus lanzamientos fueron llevados a cabo en los años 1989 y 1990 desde la Base Espacial Kennedy en Cabo Cañaveral, estado de Florida.

Bloque IIA (Bloque II Advanced): constituido con un total de 19 satélites que fueron puestos en órbita entre los años 1990 y 1997, muy similares al bloque II, aunque con algunas modificaciones que permitirían períodos más largos de operación. Durante el lanzamiento de estos satélites se completó la constelación de 24 unidades necesarias para que el sistema llegara a una capacidad operacional completa.

Bloque IIR (Bloque II Replacement): estos lanzamientos se hicieron con el objetivo de reemplazar todos aquellos satélites que así lo requerían. En total serían 13 satélites de los cuales 12 fueron puestos en órbita de manera exitosa (Figura 3.9).

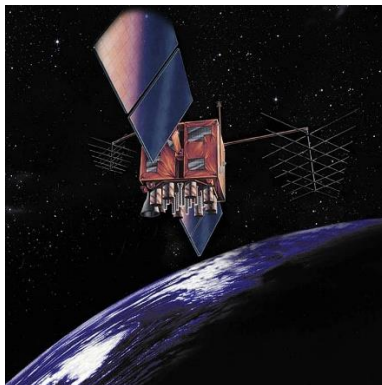


Figura 3.9 Impresión artística de un satélite GPS IIR.

Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Satélites_GPS

Bloque IIR-M (Bloque IIR Modernized): estos lanzamientos fueron realizados entre los años 2005 y 2009, con un total de 8 satélites se buscaba la incorporación de nuevos diseños y funcionalidades. En esta generación se hacen uso de nuevas señales de banda diseñadas para mejorar la precisión del sistemas como es el caso de las bandas L, además se incorpora el código M (bandas L1 y L2) para uso militar y banda L2 o L2C para uso civil, entre otras mejoras.

Bloque IIF: el lanzamiento de estos satélites se hizo factible a partir del año 2010 y estaba orientado a mejorar la estructura de los satélites proveyendo una mejor flexibilidad. También son considerados como satélites de seguimiento, haciendo un total de 8 unidades cuyo último lanzamiento fue realizado en febrero de 2016.

Bloque IIIA: son considerados satélites de tercera generación e incorporan señales y transmisión con niveles de potencia más altos, constan de un total de 10 satélites.

El lanzamiento de este grupo de satélites se mantiene en curso y hasta la fecha de la elaboración de este documento se registra el lanzamiento del tercer satélite llevado a cabo el 30 de junio del presente año 2020, los cuales proporcionaran señales de posicionamiento, navegación y sincronización para más de cuatro mil millones de usuarios militares, civiles y comerciales. Además están diseñados para proveer una precisión tres veces mejor y capacidades anti-interferencia hasta ocho veces superiores a cualquier satélite de generaciones anteriores.

Actualmente la constelación del sistema GPS consta de un total de 31 satélites, de los cuales 24 aseguran la cobertura mundial y los 7 restantes se emplean para ofrecer redundancia o mejor cobertura en zonas donde esta sea necesaria (Figura 3.10). Además de estos satélites, solamente 11 se encuentran dentro de la vida útil para la cual fueron diseñados; pero todos operan de forma óptima.

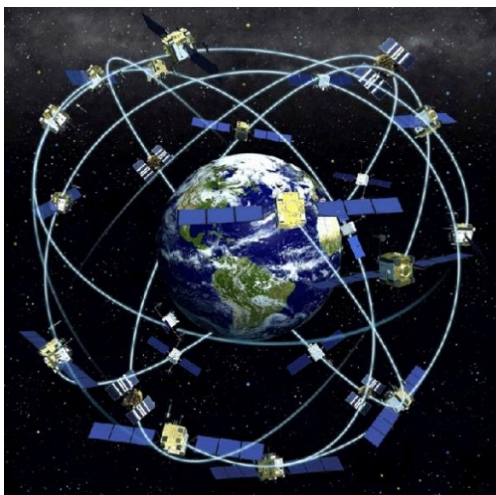


Figura 3.10 Satélites de la Constelación GPS.

Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Constelaci3n_de_sat3lites

Frecuencias de la Señal GPS

En el sistema GPS la medición exacta del tiempo es fundamental, por esta razón, cada satélite contiene varios relojes atómicos de alta precisión (Figura 3.11), con

estabilizadores muy precisos, los cuales existen en diferentes materiales: Rubidio, Cesio e Hidrógeno.

El oscilador o reloj principal del sistema GPS, contiene una hora ponderada de todos los relojes atómicos ubicados tanto en los satélites como en estaciones receptoras terrestres.

Cada satélite transmite una señal de radiofrecuencia, PRN (Ruido Pseudo Aleatorio), formada por ondas electromagnéticas que viajan a la velocidad de la luz (300,000 km/seg)



Figura 3.11 Reloj atómico.

Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Reloj_atómico

Es importante definir la estructura de una señal GPS, la cual consta de los siguientes componentes:

1. Bandas de Frecuencia o Frecuencias Portadoras

Existen tres frecuencias portadoras L_1 , L_2 y L_5 , las cuales por si solas no aportan ningún tipo de información al receptor. Sin embargo, el sistema GPS obtiene información a través de la modulación de códigos y mensajes codificados dados sobre estas frecuencias. Cada frecuencia portadora se deriva de una frecuencia fundamental de 10.23 MHz, es decir que cada una de ellas es múltiplo de dicha frecuencia (Figura 3.12).

La frecuencia portadora L_1 se genera a 1,575.42 MHz, L_2 a 1,227.6 MHz y L_5 a 11,176.45 MHz.

Esta última señal L_5 es la más nueva de las señales GPS, fue incluida por primera vez en el bloque IIR-F en 2010, es considerada 4 veces más potente que la señal L_2 y ofrece algunas ventajas más como:

- Mejora en la precisión
- Reducción de los errores multirayectoria
- Cálculo de ambigüedades más rápida y fiable
- Mejora la diferenciación de códigos, etc.

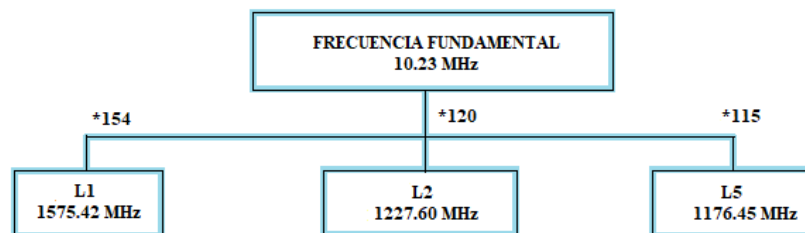


Figura 3.12 Frecuencias del sistema GPS.

Fuente: Elaboración propia, datos tomados de https://es.wikipedia.org/wiki/Banda_L

2. Códigos de Rango o Códigos de Modulación

Las frecuencias portadoras pueden utilizar diferentes tipos de códigos:

Código C/A (Course Adcquisition): modula la portadora L_1 , ofrece precisiones nominales decamétricas y es de uso civil.

Código P (Precision Code): se transmite directamente de la frecuencia fundamental a 10.23 MHz, es de uso militar, por tanto ofrece mayor precisión. Este código se transmite a través de las frecuencias L_1 y L_2 .

Código Y: este se envía encriptado en lugar del código P cuando está activo el código antiengaños.

Código L2C: es llamado así porque se emite en la frecuencia L_2 , es de uso civil, siendo incluido por primera vez en el bloque IIR-M del sistema (satélites puestos en órbita posterior al año 2005). Este tipo de señal tiene como objetivo mejorar la precisión de la navegación.

Códigos I5 y Q5: se transmiten a través de la frecuencia portadora L_5 , y están orientados al servicio Safety of Life (Salvaguardar la vida). Estos códigos son de uso civil, siendo el código I5 el que contiene los datos de navegación y el Q5 que no contiene datos por lo cual permite una adquisición mucho más fácil.

Actualmente existen receptores que solo pueden recibir la señal L_1 , algunos las L_1 y L_2 y algunos las tres: L_1 , L_2 y L_5 . De igual forma sucede con la capacidad de los satélites al momento de transmitir sus señales.

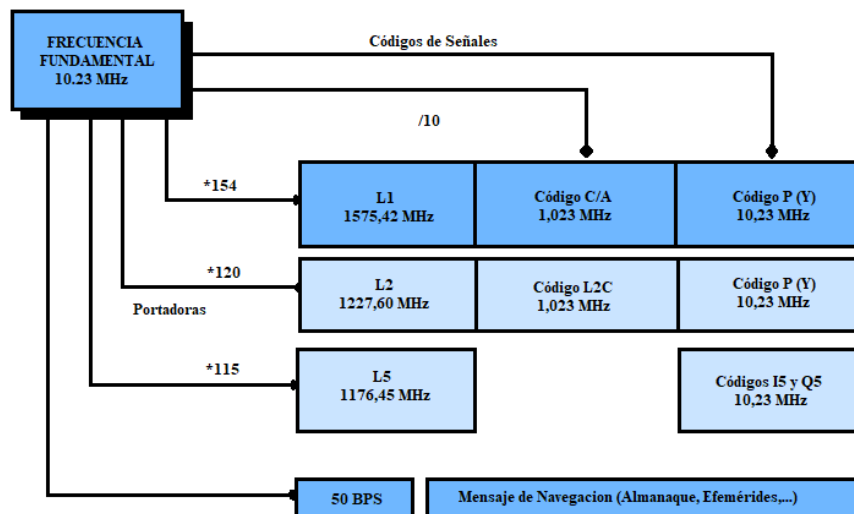


Figura 3.13 Frecuencias del Sistema GPS.

Fuente: Ing. W. Amaya Zelaya "Presentación GPS aplicado a Proyectos de Ingeniería Civil"

3. Mensajes de Navegación

Estos son transmitidos a 50 bits por segundo y consisten en un paquete de información modulada sobre las frecuencias portadoras, el cual incluye las efemérides del satélite, los parámetros de corrección del reloj e información sobre el estado de “salud” del satélite en cuestión, para su posterior mantenimiento.

Segmento de control

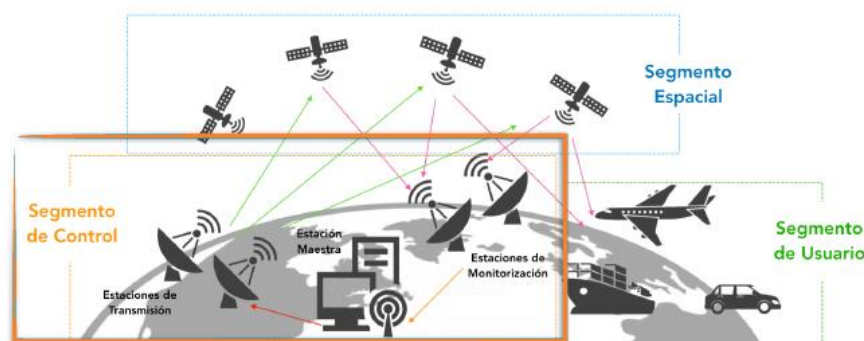


Figura 3.14 Segmentos del GPS, Segmento Control.

Fuente: S. Vilchez Benigno “Descripción y representación de las señales GNSS”.

El segmento control del Sistema de Posicionamiento Global GPS está conformado por una estación maestra de control y 4 estaciones de observación cuyo objetivo es, en términos generales, monitorear y dar seguimiento continuo de los satélites en órbita.

La estación maestra de control es la llamada Colorado Spring, localizada en la Base Aérea Schriever, Colorado Springs, Estados Unidos, esta estación es la encargada de realizar actividades de monitoreo de las órbitas y estado de los satélites, llevando a cabo acciones de mantenimiento y reposición de éstos, además de generar, verificar y actualizar mensajes de navegación, estimar y predecir efemérides, etc.

Las estaciones de observación (MS en su acrónimo en inglés) son estaciones terrestres con coordenadas conocidas de gran precisión y se encuentran distribuidas alrededor

del globo terráqueo en lugares próximos al ecuador a fin de maximizar su cobertura (Figura 3.15).

Las cuatro estaciones de observación son las siguientes:

1. Hawaii (Pacífico Oriental)
2. Isla Ascensión (Atlántico Sur)
3. Diego García (Océano Indico)
4. Kwajalein (Pacífico Occidental)

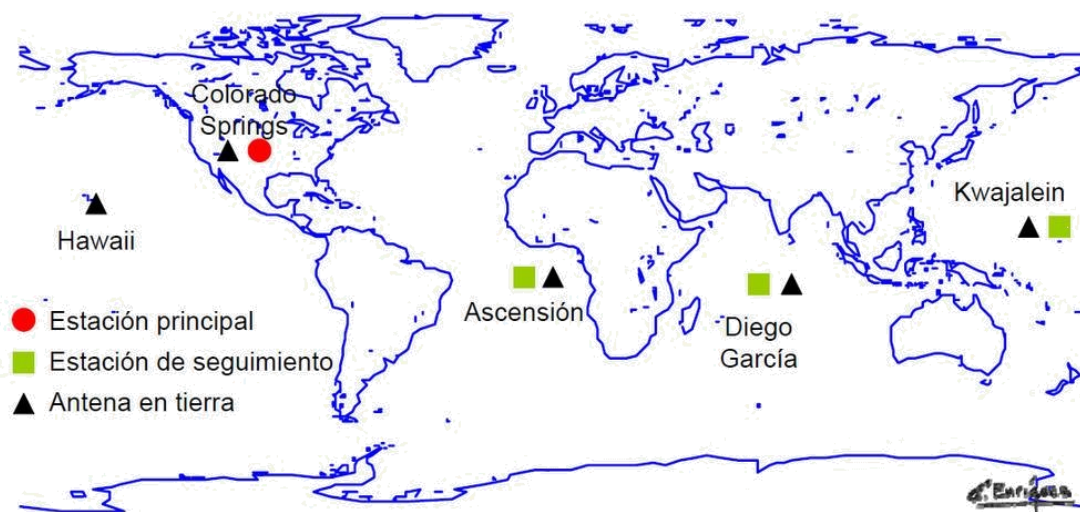


Figura 3.15 Estaciones del control del sistema.

Fuente: F.C Paxi Condori, (2014), "Diseño, observación, procesamiento de líneas base y ajuste de una red GPS"

Las estaciones de observación están encargadas de dar seguimiento a las señales de navegación de la constelación satelital, funcionan como grandes receptores de datos relacionados con las distancias entre la estación y los satélites, los cuales son transmitidos a la estación de control maestra para su debido procesamiento.

Segmento del usuario

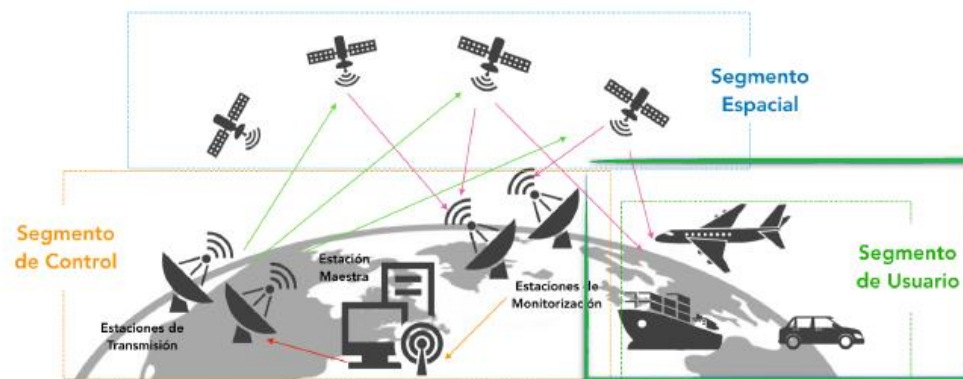


Figura 3.16 Segmento usuario del sistema GPS.

Fuente: S. Vilchez Benigno "Descripción y representación de las señales GNSS".

El segmento de usuario comprende todo instrumento que reciba las señales GPS, es decir equipos capaces de recibir y procesar la señal emitida por los satélites.

Algunas aplicaciones comunes dentro de este segmento son: navegación marítima, aérea o terrestre, topografía, tectónica de placas, cartografía e ingeniería, etc.

Tipos de receptores GPS

Actualmente existe una gran variedad de receptores o procesadores GPS tanto para uso civil como militar, siendo utilizados en aplicaciones para navegación, posicionamiento y control preciso de tiempos. Algunos de los receptores disponibles más utilizados del mercado, son los siguientes:

Navegadores

Normalmente son receptores pequeños, portátiles y mucho más económicos que el resto. Este tipo de receptores cuentan con un menú detallado de opciones con las que se trabajan las coordenadas geográficas en el sistema WGS-84, las precisiones que alcanzan no sobrepasan los 10 m. tal como su nombre los indica, son sólo para uso de

navegación, es decir que no son aptos para técnicas GPS diferenciales, sin embargo, algunos de ellos permiten el almacenamiento en memoria los datos registrados para su posterior procesamiento, además son muy útiles al momento de realizar reconocimiento en campo (Figura 3.17).



Figura 3.17 Navegadores GPS.

Fuente: <https://articulo.mercadolibre.com.mx>

Receptores Geodésicos de una Frecuencia

Son también llamados receptores mono frecuencia, y su característica principal comprende únicamente la utilización de la onda portadora L1, que permite dar solución a ambigüedades que puedan presentarse. Este tipo de receptores funcionan de modo diferencial, utilizando dos receptores a la vez, uno de ellos ubicado en un punto con coordenadas conocidas llamado Base y otro más que se desplaza a los puntos de interés, este último es llamado Rover o Móvil, además cuentan con capacidades para llegar a precisiones submétricas en distancias de 5-10 km entre los dos receptores (Figura 3.18).



Figura 3.18 Receptores geodésicos de una frecuencia.

Fuente: <https://www.halo-robotics.com>

Receptores Geodésicos de Doble Frecuencia

Los receptores de este tipo agregan, además de la frecuencia portadora L1, la frecuencia L2; esta adición permite detectar y minimizar los errores sistemáticos, llegando a obtener precisiones subcentimétricas para líneas base mayores de 10 km, son utilizados en proyectos dirigidos a la densificación de redes geodésicas, además de levantamiento de detalles, replanteos, movimiento de tierra, carreteras, etc. Los receptores de doble frecuencia requieren que el usuario cuente con ciertos conocimientos para poder operar el equipo de manera adecuada (Figura 3.19).



Figura 3.19 Receptores geodésicos de doble frecuencia.

Fuente: <https://grafinta.com/productos>

La mayoría de los equipos disponibles en el mercado son multifrecuencia y pueden recibir datos de diferentes constelaciones satelitales, lo que permite al usuario contar con equipo con una eficiencia realmente sorprendente.

3.4 Fuentes de Error del Sistema

En páginas anteriores se ha enfatizado en que el sistema de navegación satelital GPS aporta datos de gran precisión, pero en todo sistema de medición existen errores que degradan la precisión de los datos, ya sea de forma accidental o sistemática. Algunas fuentes de errores y la forma ideal de solucionarlos se muestran a continuación:

Disponibilidad selectiva (SA)

Es un error introducido deliberadamente por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, con la finalidad de denegar a usuarios civiles y potencias hostiles la excesiva precisión que brinda el GPS, provocando alteraciones en los relojes de los satélites y degradaciones en las efemérides transmitidas.



Figura 3.20 Utilización del Sistema GPS por el ejército.

Fuente: <https://ejercito.defensa.gob.es>

Actualmente este no se aplica ya que fue eliminado en mayo del año 2000 bajo la administración del presidente Bill Clinton.

Anti-Spoofing (A-S)

Conocido también como anti-espionaje, es muy parecido a la disponibilidad selectiva, esta degradación permite codificar o encriptar el código P en una señal conocida como código Y, la cual sólo puede ser descifrada por usuarios con receptores GPS militares (EE UU y sus aliados). Esta degradación es utilizada para prevenir falsas transmisiones por parte de grupos o países enemigos y es una de las razones por las cuales los GPS militares obtienen mejores precisiones comparadas con las adquiridas por usuarios civiles aún con receptores equivalentes.

Errores atmosféricos

Son provocados por fenómenos meteorológicos que tienen lugar en la tropósfera del planeta, ejemplo de esto son los vapores de agua que generan un retraso en los códigos y bandas portadoras que van desde los 2.5 m en el zenit y 30 m sobre 5° de elevación, lo que resulta en una degradación de la precisión. Este efecto puede ser reducido a través de la aplicación de modelos atmosféricos.

Otro error atmosférico se origina en la ionósfera, en la cual se crea un efecto de refracción de las señales de los satélites cuando la atraviesan, debido a que está formada por una capa de partículas cargadas eléctricamente que modifican la velocidad de las señales de radio transmitidas, afectación que introduce errores en la distancia desde los satélites a la tierra. (Figura 3.21). No obstante la ionósfera no introduce errores de retraso constantes en la señal ya que estos dependerán de factores como la elevación del satélite así como de la densidad de la ionósfera la cual es afectada por el sol.

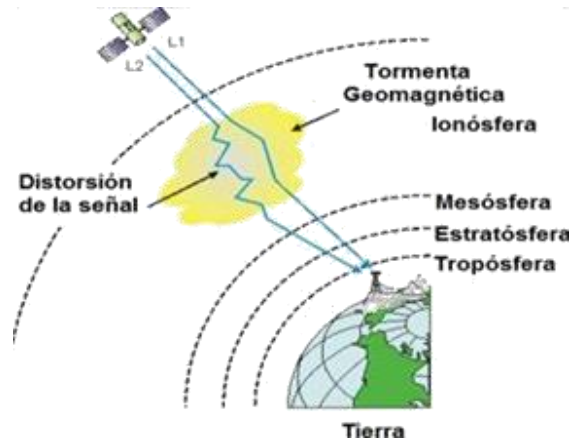


Figura 3.21 Distorsión de la señal debido a la ionósfera.

Fuente: http://reflexions.ulg.ac.be/ionospheric_refraction.png

Errores de multitrayectoria

Los errores de multitrayectoria se presentan cuando las señales transmitidas por los satélites sufren rebotes antes de llegar al receptor, debido a su cercanía con estructuras o superficies reflectoras como por ejemplo edificios, lagos, montañas, etc. (Figura 3.22).

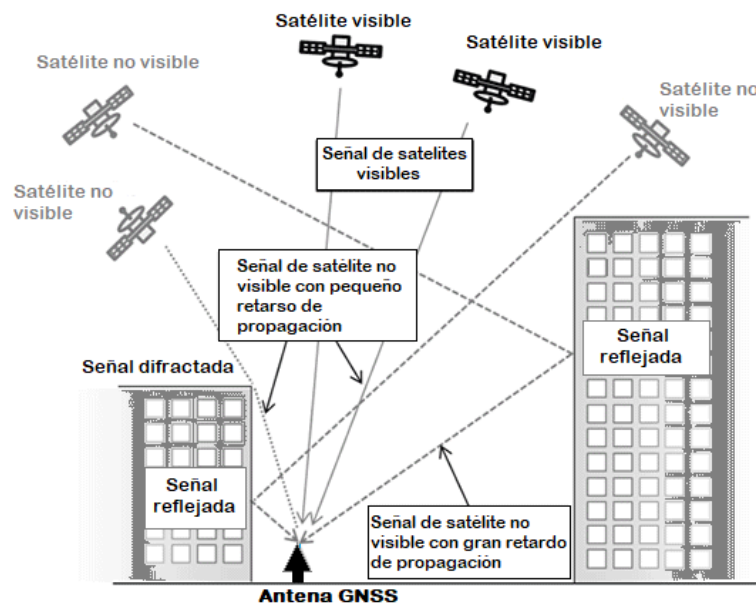


Figura 3.22 Efecto multitrayectoria.

Fuente: <http://telecomunicacionesrf.blogspot.com>

Este tipo de errores pueden llegar a ser minimizados utilizando antenas GPS especiales que incorporan un plano a tierra, tal es el caso de la antena Choke Ring (Figura 3.23), que contiene una forma particular omnidireccional que rechaza las múltiples señales de una fuente. Actualmente muchos receptores modernos emplean técnicas avanzadas de proceso de señal, los cuales permiten minimizar este error que depende en todo caso de la posición o el entorno del lugar en que se ubique el receptor.



Figura 3.23 Antena Choke Ring.

Fuente: <https://www.trimble.com>

Para evitar errores multitrayectoria es aconsejable además, seguir ciertos lineamientos a la hora de posicionar los equipos receptores y hacer las mediciones. Existen dos condiciones para la recolección de observaciones satelitales que son muy significativas, estas son la máscara de elevación y la ventana de observación, las cuales se toman en cuenta en la etapa de reconocimiento de las zonas de monumentación de estaciones geodésicas.

Máscara de elevación: esta condición se refiere al menor ángulo de elevación respecto del horizonte a la que el receptor debería captar la señal del satélite, esto evitaría la interferencia por efectos atmosféricos y objetos cercanos. Normalmente este valor es de 15° ; pero puede ser modificado tantas veces como sea necesario. (Figura 3.24).



Figura 3.24 Diagrama de máscara de elevación.

Fuente: Ing. W. Amaya Zelaya "Presentación GPS aplicado a Proyectos de Ingeniería Civil"

Ventana de observación: está referido a la abertura a la que se programa el receptor para la recolección de información, es decir el tamaño de la abertura del cielo despejado, al igual que la máscara se mide en grados y generalmente tiene un valor de 150° (Figura 3.25).



Figura 3.25 Diagrama de ventana de observación.

Fuente: Ing. W. Amaya Zelaya "Presentación GPS aplicado a Proyectos de Ingeniería Civil"

Error de Efemérides

El término efeméride hace alusión a un suceso notable ocurrido en una fecha en particular y que se celebra año tras año. En GPS la aplicación de este término se define de 2 formas:

- **Efemérides transmitidas** (Broadcast Ephemeris): también son llamadas efemérides radiodifundidas y se definen como una posición estimada del satélite en la órbita. Cada satélite transmite sus propias efemérides extrapoladas, las que repite cada 30 segundos.
- **Efemérides precisas:** son calculadas por el Servicio GNSS Internacional (IGS) y representan la posición exacta del satélite en la órbita, se calculan en base a observaciones realizadas por redes de rastreo de los satélites GPS. Además son accesibles a través de internet un día después de haber obtenidos los datos.

Sabiendo que una efeméride representa la posición del satélite en la órbita, al momento de mandar la información es importante tomar en cuenta que un usuario, recibe a través de su receptor, la señal enviada con un retraso de 0.067 segundos, es decir que existe una diferencia de tiempo entre la emisión y la recepción, a estas inexactitudes en los mensajes se les conoce como error de efemérides.

Errores de Dilución de Precisión

Este error está relacionado con la geometría que presentan los satélites al momento de recolectar la información a través de los receptores, es decir que depende de la distancia existente entre estos y su posición en el cielo.

Existen varios tipos de dilución de la precisión

- **VDOP (Dilución Vertical de la Precisión):** está referida a la degradación en la exactitud en dirección vertical.
- **HDOP (Dilución Horizontal de la Precisión):** está referida a la degradación en la exactitud en dirección horizontal.
- **GDOP (Dilución de la Precisión Geométrica):** corresponde a la pérdida de precisión debido a la geometría de los satélites. Este valor es el más útil de todos

debido a que es una combinación de estos. La GDOP requiere de 4 satélites para determinar la posición de un punto formando un tetraedro que conforme aumenta de volumen disminuye su valor y viceversa. (Mayor número de satélites significa mayor número de tetraedros y por ende menor valor de GDOP)

- **PDOP (Dilución de la Precisión en Posición):** proporciona la degradación de la exactitud causada por la posición de los satélites, y está altamente relacionado al valor de GDOP.

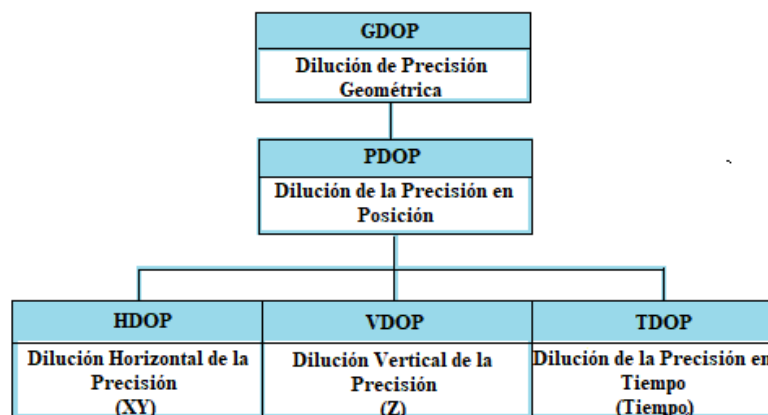


Figura 3.26 Dilución de precisión.

Fuente: Ing. W. Amaya Zelaya "Presentación GPS aplicado a Proyectos de Ingeniería Civil"

Además su valor es representado como un número adimensional que se interpreta de la siguiente manera:

Un valor de PDOP < 6 significa que existe una buena geometría satelital GDOP, es decir que se garantiza una buena precisión en las mediciones.

Un valor de PDOP > 6 significa que existe una mala geometría satelital GDOP.

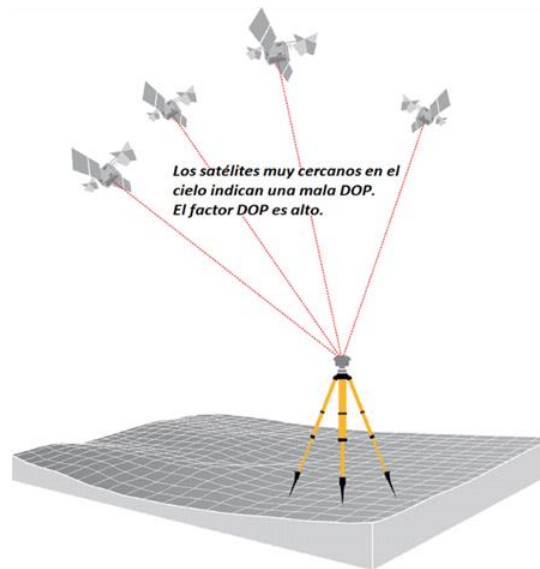


Figura 3.27 Mala geometría satelital.

Fuente: <https://www.e-education.psu.edu>

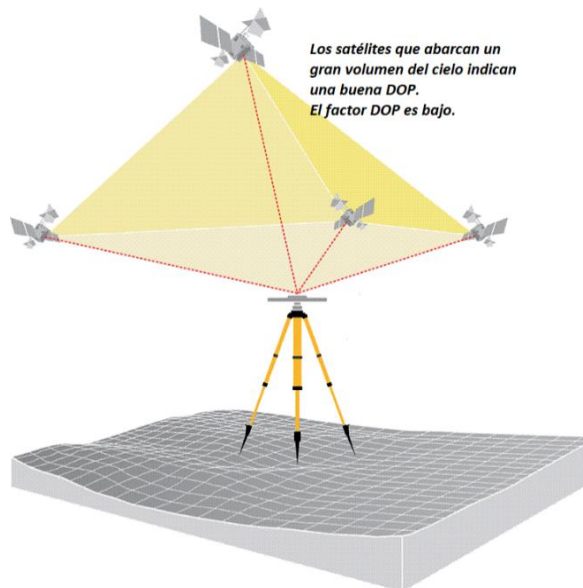


Figura 3.28 Buena geometría satelital.

Fuente: <https://www.e-education.psu.edu>

3.5 Sistemas GNSS

GNSS (Sistemas Globales de Navegación por Satélite) es un término general para describir cualquier constelación de satélites artificiales que proporcionan servicios de

posicionamiento y navegación en cualquier parte del globo terrestre, esto a través de señales de pseudodistancia y mensajes de datos al equipo del usuario.

La navegación satelital ha evolucionado a través de los años. El primer GNSS operativo conocido fue el Transit norteamericano basado en el efecto Doppler, que luego paso a ser llamado NAVSTAR-GPS y es por ahora el más popular de entre todos, tanto que puede llegar a confundirse con el termino GNSS, que engloba además otros sistemas de navegación como GLONASS, Galileo y BeiDou.



Figura 3.29 Sistemas Globales de Navegación por Satélite.

Fuente: <https://globalgpssystem.com>

Estructura de los GNSS

Un GNSS consta de 3 segmentos que se explican a continuación:

1. **Un segmento espacial o constelación de satélites:** este segmento consta básicamente de dos elementos distintivos que son: órbitas y posicionamiento de los satélites en dichas orbitas, y las características de cada uno de los satélites.

Generalmente cuando se describe una constelación GNSS se hace de acuerdo a los siguientes parámetros.

- Número de satélites que conforman la constelación
- Número de planos orbitales
- Períodos orbitales
- Aspectos geométricos de las orbitas: esto incluye inclinación, radio orbital, etc.
- Nomenclatura: está referida al número de identificación de cada satélite o el número para el vehículo espacial. Ejemplos: A1, A2, A3,..., An.

2. Segmento control: compuesto por una red de estaciones terrestres encargadas de la monitorización, el envío de órdenes y control de la constelación satelital.

3. Segmento usuario: es el más común para las personas y está compuesto por todos los receptores GNSS que reciben la señal emitida desde el segmento espacial. Estos receptores pueden ser mono o multifrecuencia y además para su funcionamiento deben de recibir la señal de al menos 4 satélites.

Actualmente además de los GNSS ya conocidos y que tienen cobertura en cualquier lugar del globo terrestre como lo son el GPS, GLONASS, Galileo y BeiDou, existen el sistema QZSS japonés (siglas de Quasi-Zenith Satellite System) que se compone de varios satélites que orbitan sobre Japón y el IRNSS (Indian Regional Navigation Satellite System) que es un sistema independiente y autónomo desarrollado y operado por la Organización de Investigación Espacial de la India (ISRO), que al igual que el sistema QZSS tienen cobertura, por ahora, únicamente regional.

3.5.1 Sistema GLONASS

GLONASS es el Sistema de Posicionamiento Satelital de origen ruso y de características en la práctica muy similares al GPS, sus siglas derivan de (Global'naya

Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema) es decir Sistema de Navegación Global por Satélite. Fue desarrollado por la antigua Unión Soviética, siendo hoy administrado por la Federación Rusa.

Desarrollado paralelamente al GPS y controlado por el Ministerio de Defensa de la Federación Rusa, el sistema GLONASS es un proyecto que tiene sus inicios en los años setenta, aunque su primer lanzamiento se llevaría a cabo hasta en octubre de 1982 y sería operativo hasta 1993.

El sistema GLONASS ha evolucionado a lo largo de los años, dando inicio con los satélites de la generación: Glonass de 1982, del cual formarían parte los denominados como Kosmos-1413, Kosmos-1414 y Kosmos-1415, posteriormente en el año 2003 se lanzaría la segunda generación de satélites designada como Glonass-M, la cual incorporaba una nueva señal civil L2 que mejoraba la exactitud y la facilidad de navegación para este tipo de usuarios y que además incluirían el control en línea de la integridad satelital por medio de radio enlaces entre satélites, lo que aumentaría la duración de operación autónoma de toda la constelación. Durante estos años, en 2007 se lograría tener una cobertura total en el territorio ruso.

Los satélites de la tercera generación llamada Glonass-K, en 2011, aportarían mejoras considerables al sistema tanto en tamaño como en masa. Con un peso menor a los 700 kg, que permitiría el envío de hasta 6 satélites a la vez, reduciendo los costos de despliegue y mantenimiento del sistema.

Se espera que para el año 2023 se ponga en marcha una nueva generación de satélites denominada Glonass K2, en el que se incorporaría mayor tiempo de servicio de los satélites y más señales de navegación.

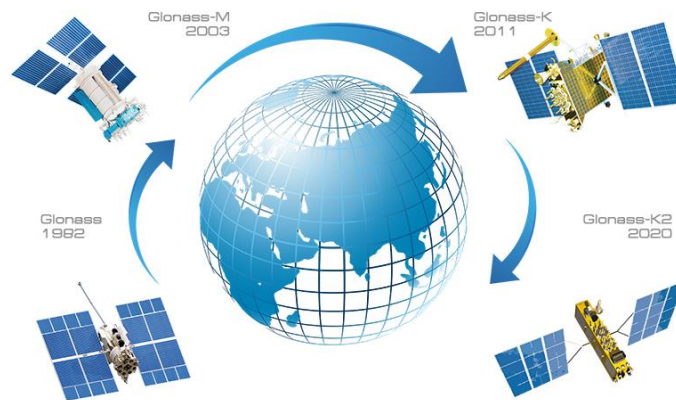


Figura 3.30 Generaciones del Sistema GLONASS.

Fuente: S.A García Bahón, (2017), "Ciencia, Tecnología y Sociedad: entorno global en el desarrollo del GPS".

Segmentos del Sistema GLONASS

Segmento espacial

Actualmente el segmento espacial de la constelación GLONASS está formada por 31 satélites, (24 activos, 2 en mantenimiento, 3 de repuestos, uno en servicio y uno más en pruebas), los cuales se mueven a una altura de 19,100 km en tres planos orbitales con 8 satélites cada uno, con una órbita inclinada de 64.8° y radio de 25,510 km. El tiempo que tarda en completar una órbita es de 11 horas y 15 minutos.

El segmento espacial del sistema GLONASS identifica a cada uno de sus satélites a través de un código PRN (Pseudo Random Noise) en diferentes frecuencias portadoras, a diferencia del sistema GPS y Galileo que lo hacen utilizando una sola frecuencia, esta técnica es denominada Multicanalización por División de Frecuencias o FDMA por sus siglas en inglés. Las bandas utilizadas para la transmisión de señales son las llamadas L1, que es de precisión estándar, esta se modula con el código C/A (Coarse Acquisition) y con un código P (Alta Precisión) y la banda L2 que solamente se modula con un código P.

Las frecuencias portadoras de cada satélite están definidas de la siguiente manera.

Banda L1: $f_1 = (1.602 + 9k/16)$ GHz

Banda L2: $f_2 = (1.246 + 7k/16)$ GHz

Donde $k = 0, 1, 2, \dots, 23$ es el número del satélite.

Los satélites de GLONASS transmiten sus mensajes de navegación a una velocidad de 50 bps, al igual que su homólogo el GPS, dichos mensajes codifican el tiempo de cada satélite y su posición al momento de transmitir las efemérides y el almanaque.

Segmento Control

Está conformado por una estación central ubicada en Moscú, seguida de una serie de estaciones de seguimiento de satélites y estaciones de control y envío de mensajes, ubicadas en todo el territorio de la antigua Unión Soviética. Entre estas estaciones se encuentran las ubicadas en St. Petersburg, Ternopol, Eniseik y Komsomolsk-na-Amure, encargadas de funciones de telemetría y seguimiento (Figura 3.31).

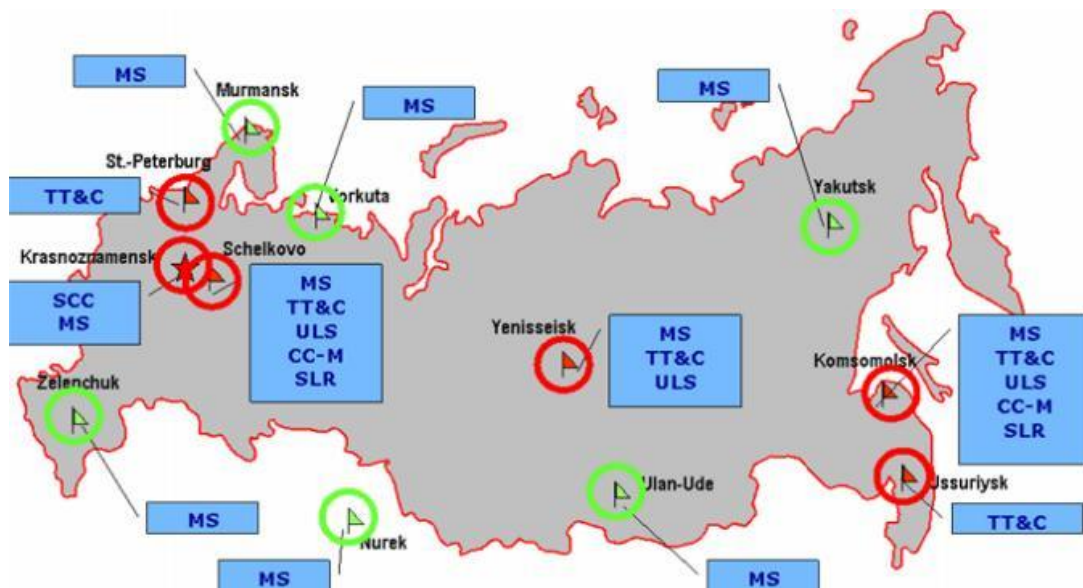


Figura 3.31 Antiguo segmento control de GLONASS.

Fuente: S. Vilchez Benigno "Descripción y representación de las señales GNSS".

En los últimos años el sistema Glonass ha venido incrementando el número de estaciones tanto en territorio ruso como fuera de este, algunas de estas estaciones son las siguientes:

- Una estación de medición en Nicaragua inaugurada el 6 de abril de 2017, la primera en América Central y a la que ambas partes (Rusia y Nicaragua) decidieron nombrar como 'Chaika' en honor de la señal de identificación que tenía la primera mujer que voló al espacio, Valentina Tereshkova.
- Estaciones de monitoreo en Brasil, ubicadas en ciudades como Recife, Santa María, Brasilia y Belém. La primera de estas estaciones fue inaugurada en el año 2013 y hasta la fecha se cuenta con un total de 6, las cuales permiten un mayor funcionamiento del sistema GLONASS en América del Sur.
- Una estación en Cuba inaugurada en octubre de 2019, con la que se buscaría aumentar el segmento extranjero de la red de estaciones de mediciones de GLONASS, con el propósito de construir un sistema de navegación global de alta precisión.
- Además cuenta con 3 estaciones en la Antártica, una en Sudáfrica y se prevé en los próximos años, la instalación de estaciones en países como Kazajstán, Bielorrusia, Armenia, China, India, Vietnam, España, Argentina, Indonesia, Ecuador, Venezuela, México y Suiza.

Segmento Usuario

Dicho segmento está conformado por todos los usuarios del sistema tanto civiles como militares, que a través de un equipamiento adecuado pueden recibir y decodificar la información brindada por el sistema de posicionamiento.

Actualmente el sistema GLONASS provee servicios de posicionamiento y georreferenciación mediante su propio Sistema de Referencia Geodésico denominado PZ-90 (Parametry Zemli 1990), que si bien en un principio era sensiblemente diferente al WGS-84, en 2007 fue adaptado y actualizado ajustándose al WGS-84 utilizado por el GPS, de esta manera se lleva a cabo la determinación de posiciones en cualquier lugar del globo terrestre en un sistema mundial de coordenadas.

Además hoy en día existen en el mercado, receptores que permiten recibir señales pertenecientes a los dos sistemas, GLONASS y GPS (con sistemas de referencia diferentes) esto aumenta las posibilidades de uso de GLONASS en la medición, como apoyo al GPS norteamericano.

3.5.2 Sistema Galileo

Galileo es el sistema de navegación desarrollado por la Unión Europea en colaboración con la Agencia Espacial Europea (ESA). Llamado así en honor al astrónomo italiano Galileo Galilei, este sistema ofrece a la Unión Europea cobertura satelital independiente del GPS norteamericano y el GLONASS ruso, además se caracteriza por ser el primer GNSS creado para uso civil a diferencia de los dos anteriores.

El sistema Galileo fue presentado en el año 2003, aunque fue puesto en marcha a partir del 15 de diciembre del año 2016, con media constelación de satélites y operando en conjunto con otros sistemas al no estar totalmente desarrollado. Actualmente ya cuenta con múltiples funcionalidades y su implementación supondrá un gran avance en las operaciones de geolocalización debido a su gran precisión, la cual es obtenida en gran parte a que sus orbitas están más inclinadas que las de su homólogo, el GPS. También se espera que Galileo sea inter-operable con el resto de sistemas de posicionamiento, es decir que al prestar sus servicios de autonomía en radionavegación y ubicación en el

espacio, un receptor puede utilizar todos los satélites a su alcance independientemente que sean satélites europeos, chinos o americanos.

Segmento del Sistema Galileo

Segmento espacial

Una vez complementado el segmento espacial de Galileo contará con 30 satélites (27 operativos más 3 de repuesto), equipados con relojes ultra precisos, ubicados en una órbita circular media (MEO), de tres planos con una altitud aproximada de 23,222 km, la inclinación de cada plano será de 56° respecto al plano ecuatorial y proporcionaran cobertura incluso hasta en las regiones polares, tardando 14 horas con 4 minutos en completar su periodo orbital. Los satélites serán diseñados con una vida útil superior a los 12 años y serán visibles de 6 a 8 de ellos desde cada punto de la tierra (Figura 3.32).

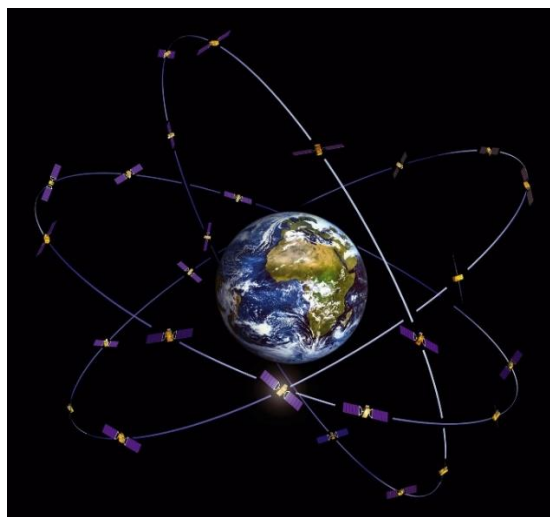


Figura 3.32 Constelación Galileo.

Fuente: <http://www.teknlife.com>

Actualmente, hay un total de 26 satélites de la constelación Galileo en órbita, de los cuales 22 se encuentran funcionando, 2 en pruebas y 2 inoperativos. Se espera que finalizado el presente año (2020) ya se encuentre en plena capacidad operativa por lo

que de cumplirse los plazos de la Agencia Espacial Europea se tendría que lanzar 4 satélites de respaldo antes de que este finalice.

Segmento de Control

La constelación Galileo en su segmento de control incluye todos los elementos necesarios que son: un centro de control, sistema de dinámica orbital, herramientas de simulación, gestión de claves, seguridad en la red, estaciones de seguimiento, etc. Dispondrá de 2 centros de control principal (GCC), ubicados en territorio europeo, uno en Oberpfaffenhofen, Alemania y otro de respaldo en Fuccino, Italia, estos tendrán como funciones controlar los satélite, cálculo y envío de mensajes de navegación, entre otras. También contará con una serie de estaciones de seguimiento, las cuales estarán estructuradas de la siguiente manera:

- 30 a 40 estaciones de sensores
- 5 estaciones de inyección de datos
- 5 estaciones de telemetría rastreo y mando
- 4 estaciones de servicio
 - Centro de servicio Galileo
 - Centro de referencia
 - Proveedor de datos de búsqueda y rescate
 - Centro de monitoreo de seguridad

Segmento Usuario

El sistema Galileo proveerá una serie de servicios dirigidos a solventar las necesidades de posicionamiento de usuarios civiles, desde ciudadanos comunes hasta mercados globales o gubernamentales.

Algunos servicios a proveer son los siguientes:

Servicio Abierto (Open Service-OS): orientado a aplicaciones para el público en general, será gratuito y proveerá al usuario información precisa de posicionamiento y tiempo. La precisión de las posiciones y la disponibilidad del servicio serán superiores a las del GPS, con un margen de error menor al metro.

Frecuencias de uso: E5A, E5B, L1

Servicio para aplicaciones críticas (Safety of Life- SoL): estará orientado a aplicaciones de transporte en donde la falta del servicio del sistema de navegación pudiera poner en peligro la vida humana. Es considerado como un OS (Open Service) mejorado, es decir con mayor nivel de integridad de cobertura mundial en áreas como por ejemplo: navegación aérea, marítima, aplicaciones ferroviarias, etc. para las cuales es esencial contar con una precisión garantizada.

Frecuencias de uso: E5A, E5B, L1

Servicio Comercial (Commercial Service –CS): estará enfocado al desarrollo de aplicaciones propias de los sectores profesional y comercial, a través de dos señales codificadas adicionales a las del servicio abierto, mejorando la precisión y optimizando la adquisición de datos. Debido a las mejoras que presenta respecto a los anteriores no se brindará de forma gratuita.

Frecuencias de uso: E6

Servicio Público Regulado (Public Regulated Service-PRS): estará destinado a aplicaciones gubernamentales, con dos señales de navegación independientes encriptadas; contará con una operatividad permanente y libre de cualquier interferencia. Está caracterizado por contar con una señal robusta.

Frecuencias de uso: E6 y L1

Servicio de Búsqueda y Rescate (Search and Rescue Service-SAR): el sistema Galileo tendrá un papel muy importante en el sistema de búsqueda y salvamento, a través de satélites capaces de captar señales de emergencia enviados por aviones, barcos o personas y enviando mensajes de alerta, los cuales serán recibidos casi en tiempo real por centros nacionales de rescate. Además será una contribución de Europa al sistema COSPAS-SARSAT, el sistema internacional de detección de alertas de socorro de búsqueda y rescate por satélite.



Figura 3.33 Servicios de Sistema Galileo.

Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:GSC_servicios_galileo.jpg

3.5.3 Sistema BeiDou

BeiDou es el GNSS desarrollado por la República Popular de China, inicialmente fue concebido para mejorar las habilidades de la Fuerzas Armadas Chinas y no tener dependencia del GPS norteamericano. Actualmente incluye servicios civiles y su nuevo marco de aplicación también está orientado en propiciar el crecimiento y el bienestar de todos los países de la región de Asia-Pacífico, África y el este de Europa.

Esta constelación de satélites denominada BeiDou, que en lengua mandarín hace referencia a la “Osa Mayor”, comenzó su desarrollo a mediados de la década de 90’s, en un principio daría acceso de geolocalización a actividades militares, pero comenzó a brindar servicios de navegación y posicionamiento a usuarios civiles en abril de 2004 y a escala mundial comenzó a operar en diciembre de 2018, teniendo cobertura en una treintena de países que participan en el plan de la Nueva Ruta de la Seda, considerada la mayor iniciativa en política exterior de China y que consiste en una enorme infraestructura para la expansión del libre comercio.

Segmentos del sistema BeiDou

Segmento Espacial

El despliegue de este sistema a través de los años se ha dividido en tres fases de lanzamiento que son:

- **BeiDou-1 (2001):** dio comienzo con el lanzamiento del primer satélite de la constelación: BeiDou-1^a en octubre del año 2000, estaría conformado de total de tres satélites y su cobertura sería local, calculando coordenadas con solo 2 satélites. El sistema BeiDou-1 fue dado de baja a finales de 2012.
- **BeiDou-2 o Compass (2011):** esta fase comenzó a implementarse en diciembre de 2012 ofreciendo servicios a la región Asia- Pacífico, durante esta fase se pusieron en funcionamiento un total de 16 satélites
- **BeiDou-3 o BDS-3 (2020):** el despliegue de esta generación de satélites comenzó en marzo de 2015, con el propósito de ofrecer servicios de posicionamiento, navegación y sincronización de alta precisión en todo el mundo, y ser un sistema capaz de competir con los ya existentes, GPS, GLONASS y Galileo.

Después de confirmarse el lanzamiento del último satélite de la generación BeiDou-3 el 23 de junio de 2020 (Figura 3.34), desde la base de Xichang, provincia de Sichuan, el sistema BeiDou estaría conformado por un total de 35 satélites, siendo el sistema con más satélites en comparación con los 31 del GPS y del sistema GLONASS y Galileo que cuentan con 31 y 30 respectivamente, además se espera sea más preciso que estos, llegando a una precisión de sus detecciones bajo un margen de 10 centímetros, frente a los 30 centímetros garantizados por el GPS.



Figura 3.34 Lanzamiento del último satélite de BeiDou, Junio 2020.

Fuente: <https://gamerslatam.info>

Los 35 satélites que comprende el sistema contarán con una estructuración única basada en 3 niveles, uno principal con 27 satélites en una órbita terrestre media (MEO), a una altura media de 21,500 kilómetros, 5 ubicados en una órbita geoestacionaria (GEO), y 3 satélites ubicados en una órbita geosíncrona inclinada (IGSO), ambas a una altura de 36,000 kilómetros (Figura 3.35).

Además las frecuencias del sistema estarían asignadas en cuatro bandas: E1, E2, E5B y E6

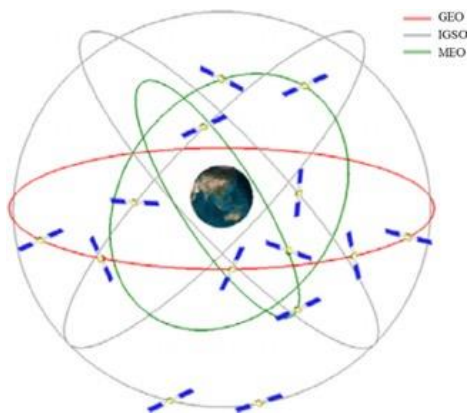


Figura 3.35 Órbitas del Sistema BeiDou.

Fuente: S.A García Bahón, (2017) "Ciencia, Tecnología y Sociedad: entorno global en el desarrollo del GPS".

Segmento Control

El segmento control de Beidou está compuesto por 3 elementos

- **Estación de Control Maestra (Master Control Station-MCS):** encargada de recoger datos de las centrales de monitorización, procesarlos y generar mensajes de navegación para su posterior envío a los satélites.
- **Estaciones de Inyección de Datos (Time Synchronization/ Upload Station-TS/US):** estas son las encargadas de enviar a los satélites, las correcciones y mensajes de navegación generados en la estación maestra. Existen 3 estaciones de este tipo y están ubicadas en Jamushi, Kashi y Zhanjiang.
- **Estaciones de Monitoreo (Monitor Stations-MS):** BeiDou cuenta con 30 estaciones de monitorización cuyo propósito es recoger los datos transmitidos por los satélites y seguidamente enviárselos a la estación maestra para su debido procesamiento.

Segmento Usuario

Este segmento está conformado por todas las terminales que reciben datos del sistema, las cuales están integradas en infinidad de dispositivos, por ejemplo millones de

automóviles, taxis, aviones, autobuses y camiones están equipados con terminales de BeiDou, lo que les permite recibir información sobre rutas determinadas, de igual forma las marcas de celulares del país son compatibles con este sistema, que además elimina completamente la dependencia de las Fuerzas Armadas Chinas del sistema GPS de Estados Unidos.

Actualmente la gran mayoría de estas terminales de BeiDou son compatibles con el resto de sistemas de navegación, permitiendo al usuario cambiar de uno a otro y buscar la mejor precisión.

CAPITULO IV

TÉCNICAS DE MEDICIÓN SATELITAL

Al llevar a cabo un trabajo geodésico o topográfico, los equipos de recepción de datos GPS nos permiten elegir diferentes técnicas de medición, las cuales estarán condicionadas por diferentes factores como: requerimientos de la precisión, tipos de equipos disponibles, costos, información técnica de campo solicitada, distancia entre puntos, etc.

Los 4 métodos de medición más utilizados se describen a continuación.

4.1 Medición Estática

La medición estática ha sido durante muchos años el primer método de observación para levantamientos con GPS en obtener resultados con características que ofrecen un nivel de precisión excelente.

Este método consiste en realizar observaciones simultáneas entre dos o más receptores estacionarios, los cuales registran datos durante un mismo período de tiempo y bajo los mismos parámetros de medición. Su aplicación se lleva a cabo de forma que se crea una red de triangulación entre todos los puntos a medir (Figura 4.1). Requiere de un proceso muy riguroso, pero garantiza resultados precisos.

Algunas de las características de la medición estática son las siguientes:

- Medición clásica de líneas base
- Distancias largas y de gran precisión
- Tiempos largos de observación
- Método estándar para distancias superiores a 20 Km

- Precisión de 5mm \pm 1ppm, dependiendo del tiempo de observación y de la distancia de la línea base.

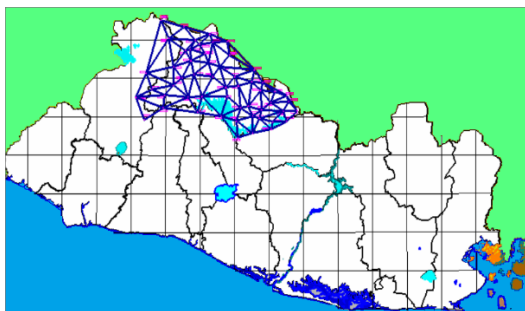


Figura 4.1 Red de triangulación resultante de una medición estática.

Fuente: *Densificación y Mantenimiento de la Red Geodésica Nacional*, <http://www.sirgas.org>

Los parámetros de esta técnica de medición satelital se presentan a continuación:

Parámetros	Valor
Valor de la Máscara	10°-15°
Intervalo de grabación	15-30 seg
N° de satélites mínimos necesarios	4
Tiempo mínimo de observación	2 horas

Tabla 4.1 Parámetros de Medición Estática.

Fuente: *Elaboración propia, datos tomados de Ing. W. Amaya Zelaya "Presentación GPS aplicado a Proyectos de Ingeniería Civil"*

En la medición estática existe una relación directamente proporcional entre el tiempo y la distancia, es decir, a mayor distancia mayor tiempo y viceversa. Además se deberán tomar en cuenta las siguientes diferencias relacionadas con el tipo de equipo a utilizar.

GPS monofrecuencia:

- Mediciones de fases sobre L1
- Tiempo de observación: 2 horas
- Distancia hasta de 20 km
- Precisión: \pm 5 mm+ 2 ppm

GPS bifrecuencia:

- Mediciones de fases sobre L1 y L2.
- Tiempo de observación : 2 a 8 horas
- Distancia hasta 300 km
- Precisión: $\pm 5 \text{ mm} + 1 \text{ ppm}$

GPS Ultrapreciso:

- Mediciones de fases sobre L1 y L2.
- Tiempo de observación: 1 a varios días.
- Distancias hasta 5000 km.
- Precisión: $\pm 10^{-8} D$

Las mediciones estáticas se utilizan en Geodesia en aplicaciones como:

- Determinación de redes geodésicas de alta precisión milimétrica.
- Establecimiento de puntos de control geodésicos.
- Control de movimientos tectónicos y deformación de volcanes.
- Control de deformación en diques y otras estructuras, etc.

Para la implementación adecuada de esta técnica se deben realizar ciertos procesos relacionados con el lugar de las mediciones, los cuales se mencionan a continuación y serán explicados a profundidad en el capítulo 5 de este documento.

1. Reconocimiento o identificación de campo.

Este consiste en buscar un lugar que cumpla las características y condiciones necesarias en el terreno para ubicar el vértice geodésico. Una de las condiciones esenciales para éste vértice es la no obstrucción (Máscara de elevación) del lugar para

garantizar el rastreo de la señal satelital, así como un libre acceso para poder ingresar al mismo (Figura 4.2).



Figura 4.2 Reconocimiento en campo para la monumentación de un vértice geodésico.

Fuente: Propia

2. Monumentación

La monumentación de estaciones geodésicas deberá realizarse siguiendo los procedimientos establecidos por el Instituto Geográfico y Catastro Nacional (IGCN). En el caso de las redes departamentales, estas estaciones consisten en dos mojones, debidamente identificados (vértice y marca de azimut), de concreto con forma piramidal truncada y en su parte superior empotrada una placa de cobre o aluminio y grabada en ella, la Institución estatal responsable en este caso el Centro Nacional de Registros-Instituto Geográfico Nacional, nombre de la Estación y año (Figura 4.3).



Figura 4.3 Placa de identificación de vértice geodésico.

Fuente: Instituto Geográfico y del Catastro Nacional IGCN

Este tipo de monumento con placa se establece en sitios seguros pues en un buen porcentaje, la estructura es dañada al arrancarles la placa; por tanto se tiene como alternativa empotrarles pines de hierro en su base superficial para el vértice y su marca de azimut correspondiente (Figura 4.4).



Figura 4.4 Vértice de la red geodésica.

Fuente: Propia

Estas estructuras deberán ser emplazadas en lugares estratégicos que garanticen su permanencia y estabilidad a través del tiempo.

3. Medición de observación satelital.

Esta medición se realiza con dos o más receptores ubicados en los puntos, de los cuales se desea conocer las coordenadas (Figura 4.5). Los resultados obtenidos deberán ser post procesados y ajustados para obtener las precisiones requeridas.

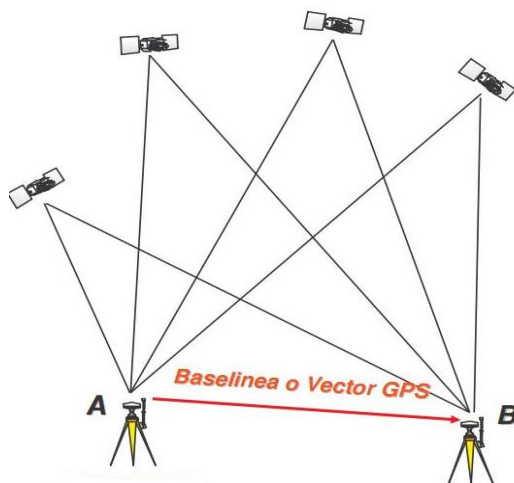


Figura 4.5 Medición del punto A al punto B utilizando en medición Estática.

Fuente: <http://detopografia.blogspot.com>

4.2 Medición Estática Rápida

La medición estática rápida es similar a la medición estática en cuanto a que requiere de un post procesamiento de datos, sin embargo, la metodología a seguir en la medición y el tiempo de observación son diferentes. Esta técnica es aplicada por radiación (Figura 4.5), es decir en forma de vectores; requiere de una estación base o de referencia y de un equipo adicional llamado Rover, el cual se mueve a cada uno de los puntos a medir. Este método lo distingue principalmente el hecho de que se requieren receptores de doble frecuencia con código P para llevarlo a cabo.

Algunas de sus aplicaciones son las siguientes:

- Densificación de redes
- Levantamientos de control
- Levantamiento de detalles
- Cualquier trabajo que requiera la determinación rápida de un elevado número de puntos, etc.

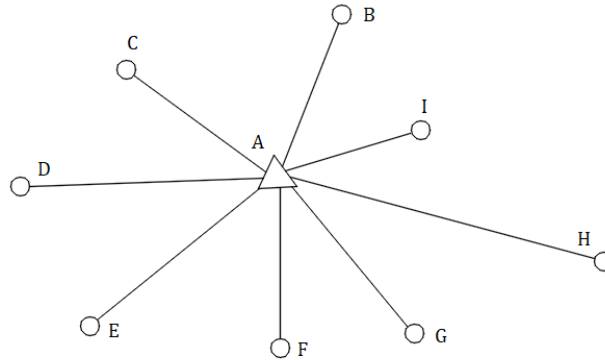


Figura 4.6 Modo de observación Estática Rápida.

Fuente. Elaboración propia

En este proceso también se incluyen el desarrollo de las etapas de reconocimiento y monumentación. El tiempo de observación es más corto y depende de la cantidad de satélites, su configuración geométrica y longitud de la línea base a medir.

Los parámetros utilizados en esta técnica de medición satelital son los siguientes:

Parámetros	Valor
Valor de la Máscara	10°-15°
Intervalo de grabación	10 seg
N° de satélites mínimos necesarios	4
Tiempo mínimo de observación	5 a 20 min

Tabla 4.2 Parámetros de Medición Estática Rápida Parámetros de Medición Estática.

Fuente: Elaboración propia, datos tomados de Ing. W. Amaya Zelaya "Presentación GPS aplicado a Proyectos de Ingeniería Civil"

La precisión máxima de este método es de: $\pm (5 \text{ a } 10 \text{ mm} + 1 \text{ ppm})$.

El tiempo de medición de acuerdo a la longitud de línea base entre la estación de referencia y el receptor móvil es el siguiente:

- Menor a 5 km: 5 a 10 minutos.
- De 5 km a 10 km: 10 a 20 minutos.
- De 10 a no más de 20 km: 30 minutos.

4.3 Medición Cinemática

El método cinemático es el más eficiente al momento de hacer un levantamiento con una gran cantidad de puntos cercanos entre sí, sin embargo es una técnica de menor precisión. Este consiste en un receptor llamado BASE sobre un punto de referencia conocido y un receptor móvil llamado ROVER que se desplaza en la zona del proyecto y cuya posición puede ser calculada en relación con la base. Este proceso tiene una duración de entre 1 a 5 minutos.

La medición cinemática comprende una primera etapa denominada iniciación, la cual consiste en activar ambos receptores (Base y Rover) para que permanezcan estáticos durante cierto tiempo (5 a 20 minutos), permitiendo el registro de datos necesarios para resolver ambigüedades en la medición y brindar precisiones centimétricas en movimiento (Figura 4.7)



Figura 4.7 Proceso de inicialización.

Fuente: Proceso de Observación y Procesamiento GNSS, Normas Técnicas Cartográficas de Andalucía

Posteriormente, sin cortar el contacto con los satélites, el receptor móvil se mueve libremente en todos los puntos de interés registrando sus posiciones con un intervalo de tiempo determinado en el receptor, este proceso es conocido como cadena cinemática (Figura 4.8)

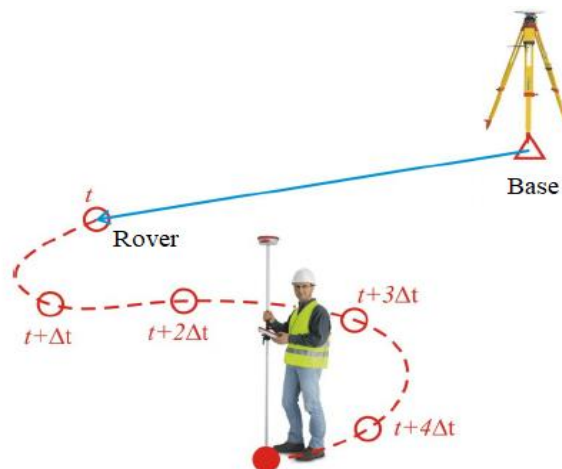


Figura 4.8 Método de Medición Cinemático.

Fuente: Proceso de Observación y Procesamiento GNSS, Normas Técnicas Cartográficas de Andalucía

Los parámetros aplicados en la medición cinemática se presentan a continuación:

Parámetros	Valor
Valor de la Máscara	10°- 15°
Intervalo de medición	1-5 seg
N° de satélites mínimos necesarios	4
Tiempo mínimo de observación	1-5 min
Precisión máxima	± (1 cm+ 2 ppm)
Distancia recomendada entre Base y Rover	Menor a 20 Km

Tabla 4.3 *Parámetros de Medición Cinemática Parámetros de Medición Estática.*

Fuente: Elaboración propia, datos de Ing. W. Amaya Zelaya "Presentación GPS aplicado a Proyectos de Ingeniería Civil"

Cuando se realiza este tipo de levantamientos, es importante tomar en cuenta los posibles errores de multitrayectoria y verificar que no se tomaran mediciones cerca de objetos que pudieran bloquear las señales satelitales, como por ejemplo árboles, edificios de considerable altura, etc.

Algunas aplicaciones del Método Cinemático son las siguientes:

- Medición de perfiles transversales
- Navegación
- Levantamiento de detalles en zona despejada
- Levantamientos de ejes de carreteras, etc.

4.4 Medición en Tiempo Real (RTK -Real Time Kinematic)

Este método consiste en obtener coordenadas en tiempo real, solventando el inconveniente presentado por los métodos anteriores los cuales necesitan de actividades de post-procesamiento de la información obtenida en campo para determinar las coordenadas respectivas.

Para este método se necesita un receptor de referencia (Base) y un receptor móvil (Rover), los cuales estarán conectados a través de un enlace de radio (Modem). El receptor Base capta datos de los satélites y los transmite al receptor móvil que a su vez también recibe datos de los satélites a través de su propia antena. A partir de la información obtenida el receptor móvil es capaz de procesar los datos, dando solución a posibles ambigüedades conforme estos se recolectan y proporcionar coordenadas bastante precisas, disponibles de forma inmediata (Figura 4.9)

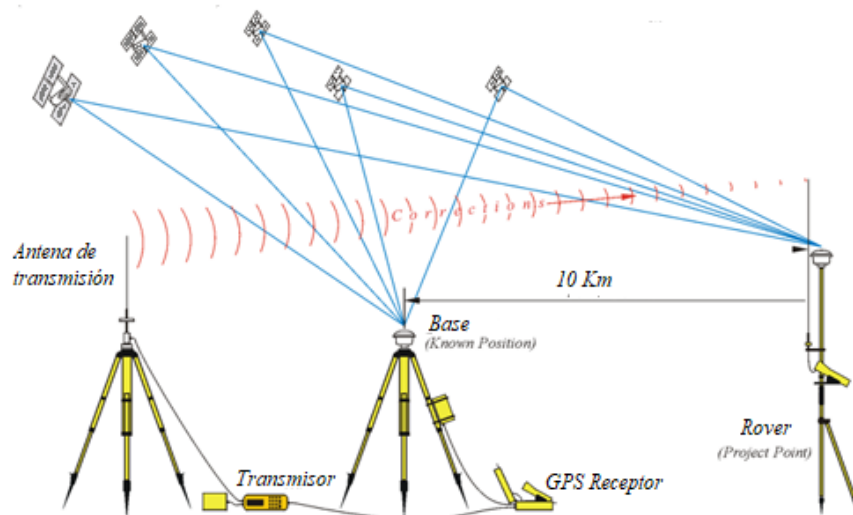


Figura 4.9 Medición en Tiempo Real RTK.

Fuente: <http://telecomunicacionesrf.blogspot.com>

Un procedimiento detallado de una medición RTK es el siguiente:

- a. Teniendo un punto de coordenadas conocidas se procede a instalar la base en el lugar que se estime más conveniente, es decir un lugar en el que no se tengan obstáculos y se permita realizar una medición clara de la señal satelital. Es recomendable que la posición de la Base se encuentre cerca o dentro del lugar a levantar y preferiblemente en un sitio elevado, garantizando una mejor recepción y comunicación satelital. Es importante además que el

receptor base se posicione a una distancia máxima de 10 Km, esto debido al alcance del Modem.

- b. Posteriormente se deben de configurar e inicializar ambos equipos, Base y Rover utilizando el aparato controlador, se deber verificar que se encuentren en la misma frecuencia y su enlace a través del modem.
- c. A continuación se realiza el proceso de localización, desplazándose el receptor móvil al punto de coordenadas conocidas, en este se harán una serie de mediciones los cuales serán guardados en un archivo, además se corrige la coordenada de la base permitiendo que todos los puntos que se midan a continuación estén georeferenciados.
- d. Seguidamente se debe trasladarse al área de trabajo y se comienza a realizar el levantamiento tomando las mediciones que sean necesarias.
- e. Finalmente es importante mencionar que otra forma de realizar el levantamiento es colocando la Base en un punto de coordenadas conocidas, siempre y cuando el sitio de la referencia cuente con las condiciones adecuadas para el proceso de medición.

Los parámetros de la técnica de medición satelital RTK son los siguientes:

Parámetros	Valor
Valor de la Máscara	10°-15°
Intervalo de medición	1 seg
N° de satélites mínimos necesarios	4
Tiempo mínimo de observación	1-5 seg
Precisión máxima	± (1 cm a 2 cm+ 2 ppm)
Distancia recomendada entre Base y Rover	Menor a 10 Km

Tabla 4.4 *Parámetros de Medición en Tiempo Real RTK.*

Fuente: Elaboración propia, datos de Ing. W. Amaya Zelaya "Presentación GPS aplicado a Proyectos de Ingeniería Civil"

La medición RTK es comúnmente utilizada en levantamientos GPS de alta precisión, además es recomendable en las siguientes aplicaciones:

- Levantamientos y localización de detalles en zonas despejadas
- Medición de perfiles transversales, volúmenes
- Levantamiento de ejes de carreteras
- Replanteo
- Levantamiento de control
- Agricultura de precisión

Para el desarrollo del presente documento, que incluye el proceso de medición con GPS de la red del departamento de Sonsonate, será llevado a cabo utilizando el método estático, el cual permite obtener precisiones centimétricas, que lo hacen especialmente indicado para la observación de la red de vértices geodésicos en cuestión. También serán utilizados equipos GPS de doble frecuencia cuyo tiempo de observación es de una a cuatro horas por cada vértice geodésico.

CAPITULO V

REDES GEODESICAS

5.1 Redes geodésicas

Las redes geodésicas están formadas por un conjunto de puntos materializados sobre el territorio, dentro del ámbito nacional. Estos puntos son llamados vértices geodésicos y se establecen físicamente mediante monumentos permanentes, sobre los cuales se hacen mediciones GPS directas que permiten, después de ciertos procesamientos, determinar su posición WGS-84 (latitud, longitud y elevación elipsoidal).

El objetivo de una red geodésica es impulsar proyectos de alta precisión, proporcionando un control básico esencial para el desarrollo de proyectos de ingeniería, como en levantamientos topográficos, geodésicos y referencia de imágenes satelitales, que contribuyen al desarrollo del país. Además son fundamentales para la depuración de los registros catastrales, cartografía, levantamientos batimétricos demarcación de fronteras nacionales e internacionales, etc.

5.2 Establecimiento de las Redes Geodésicas

En los diferentes proyectos desarrollados por el Instituto Geográfico y del Catastro Nacional IGCN, se ha utilizado la Geodesia, no solo como sistema de Referencia para la recolección de la información generada, si no como un instrumento que ha permitido llevar a cabo la planeación de las actividades inherentes a proyectos institucionales gubernamentales o de índole particular.

Con el constante avance tecnológico en los Sistemas de Información Geográfica surge la necesidad de emplear los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), con el objetivo

de brindar mayor precisión en la representación de la información geodésica y geográfica.

Para la implementación del GPS en el establecimiento de redes geodésicas en el proyecto del Plan de Modernización del Registro Inmobiliario y del Catastro, es necesario regular el uso y los procesos de aplicación en base a normas, especificaciones y procedimientos en el Establecimiento de Redes Geodésicas y su Densificación.

Normas Técnicas para Levantamientos Geodésicos

Las normas técnicas para levantamientos geodésicos tienen como objetivo fijar los estándares nacionales que permiten la ejecución de un proyecto geodésico dado, fundamentalmente en lo que respecta a exactitud y precisión de resultados.

A través de estos lineamientos se definen métodos de trabajos previamente estudiados cubriendo aspectos técnicos y operativos de mismo, optimización y estandarización de metodologías, etc. además proporcionan una evaluación adecuada sobre registros, interconexión de sistemas existentes, permanencia y recuperación de monumentos y la utilidad de dichos trabajos.

Aspectos Generales

- I. El presente Marco de Especificaciones Mínimas para Geodesia tiene como finalidad de servir como referencia normativa para la evaluación de trabajos y levantamientos geodésicos existentes, así como para obtener el control de los que se hagan posteriormente y darles un carácter uniforme a los Levantamientos Geodésicos que se efectúen dentro del territorio nacional.
- II. Para que un levantamiento sea considerado como geodésico deberá tomar en cuenta los efectos de curvatura terrestre y ejecutarse con instrumental y procedimientos que permitan una precisión interna compatible con las

especificaciones de exactitud y precisión que en este documento se consignan, de modo que cada punto del levantamiento quede inequívocamente determinado por los parámetros que le correspondan, de acuerdo con el tipo de levantamiento y con respecto a un determinado sistema de referencia, como se especifica en los puntos siguientes.

- III. Levantamientos Geodésicos Horizontales: son aquellos que comprenden una serie de medidas efectuadas en el campo, cuyo propósito final consiste en determinar las coordenadas geográficas (geodésicas) de puntos situados sobre la superficie terrestre.
- IV. Se define como Red Geodésica Nacional al conjunto de puntos situados sobre el terreno, dentro del ámbito del territorio nacional, establecidos físicamente mediante monumentos permanentes, sobre los cuales se han hecho medidas directas y de apoyo de parámetros físicos, que permiten su interconexión y la determinación de su posición WGS-84 (Latitud y Longitud) y altura (elipsoidal), obtenidas mediante procedimientos y mediciones con Equipo GPS.
- V. Todo levantamiento geodésico horizontal, deberá formar parte de la Red Geodésica Básica del país o a sus densificaciones, referido al Datum WGS-84 del Sistema de Referencia SIRGAS-ES2007.

En cada levantamiento geodésico debe realizarse siguiendo una serie de etapas o procesos, las cuales requieren de la siguiente secuencia operativa.

1. Diseño y Planificación
2. Reconocimiento.
3. Monumentación
4. Medición con GPS
5. Descarga de datos

6. Post-proceso y ajuste de la red
7. Datos finales.

5.2.1 Diseño y Planificación

La etapa de diseño y planificación de la red geodésica consiste establecer las condiciones geométricas, técnicas, económicas y la factibilidad requerida para la elaboración de un anteproyecto de un levantamiento dado.

Este proceso se relaciona al pre análisis o planificación, en los cuales hay varios factores a tomar en consideración como la exactitud, la precisión requerida, disponibilidad en el equipo a utilizar, materiales, personal, etc. de modo que sea posible abarcar todos los factores para hacer un buen diseño y establecer las normas y procedimientos específicos del levantamiento basándose en las normas contenidas en esta investigación. Además incluye la recopilación de información relativa a cartográfica existente en la zona, vértices geodésicos existentes, descripciones técnicas y todos los informes actualizados del estado físico de los mojones a ser utilizados en la red.

5.2.2 Reconocimiento

La etapa de reconocimiento o Identificación de campo es llevada a cabo por brigadas cuyo trabajo comprende una serie de actividades que permiten conocer detalles relacionados a la ubicación de cada vértice geodésico.

Para el mantenimiento y actualización de las redes departamentales del país, en donde ya se tienen las coordenadas de las estaciones geodésicas que las conforman, las actividades del reconocimiento se desglosan de la siguiente manera:

- **Definir o recuperar vértices geodésicos**

En esta etapa se verifica la permanencia en el terreno de los vértices geodésicos. Para llegar al lugar, las brigadas de campo se guían con la descripción del vértice, la cual

consta de un informe técnico con todos los detalles y referencias necesarios y una descripción gráfica del lugar, cuadrantes topográficos correspondiente a la zona y navegadores GPS.

Si el vértice todavía se encuentra en el lugar será necesario determinar si cumple con las condiciones como son la máscara de elevación y ventana de observación las cuales representan el ángulo vertical necesario para evitar la interferencia generada por edificios, árboles, taludes u otros objetos de considerable altura y el ángulo horizontal que indica el tamaño de la abertura del cielo despejado para la recolección de datos. Cada vértice geodésico posee una marca de azimut y por lo general 3 referencias, las cuales también deberán ser verificadas.

Además al desarrollarse esta actividad también pueden encontrarse casos como vértices con daños leves, semi-destruidos, removidos o desaparecidos; en consecuencia para los últimos tres casos se deberá considerar un nuevo sitio de permanencia de los vértices. Estos deberán ser establecidos en lugares en donde se cumplan con los siguientes requisitos:

1. Tener una configuración geométrica adecuada, es decir, que para el establecimiento de estos vértices geodésicos se debe de tomar como referencia la densificación realizada en el planeamiento, al momento de establecer la red.
2. Ubicación en zonas de fácil acceso o con condiciones adecuadas para la movilidad de materiales y equipos requeridos.
3. Deben situarse en zonas geológicamente estables para garantizar que las condiciones encontradas serán constantes en el tiempo, sin sufrir cambios considerables como: erosión de suelos, deslizamientos, construcciones, etc. Por

ejemplo, deberá evitarse la utilización de suelos donde la capa de material orgánico sea demasiado profunda.

4. Tener un horizonte que se encuentre lo mínimo posible obstruido para cada vértice y marca de azimut.
5. Se deberá tener la menor interferencia posible de líneas de alta tensión, edificios, o muros y se deberán evitar los objetos reflectantes a menos de 50 m del vértice geodésico tales como espejos de agua, techos metálicos o cubiertos de materiales reflectantes, etc.

- **Elaborar diagramas de obstrucción o máscara**

El diagrama de obstrucción es una representación gráfica que permite visualizar si el sitio en donde se encuentra el vértice geodésico cuenta con una máscara de elevación adecuada para la realización de las mediciones satelitales. Para la elaboración de este diagrama y verificación de parámetros de ventana y máscara es necesario el uso de equipos básicos de medición de ángulos como el inclinómetro y la brújula de mano, los cuales permiten el registro de datos (Figura 5.1).



Figura 5.1 Brújula de mano.

Fuente: <https://articulo.mercadolibre.com>

El proceso de llenado para elaboración de diagrama de obstrucción o mascara es el siguiente:

- a. El observador debe situarse sobre el sitio donde se encuentre el vértice o en donde se pretende establecer.
- b. Identificar y anotar todos los posibles obstáculos cercanos al punto, los cuales pueden ser: árboles, antenas, edificios, muros, etc.
- c. Definir de forma gráfica los obstáculos encontrados, para lo cual se determina el rango de azimut, midiendo a partir del norte franco el ángulo en el que inicia y termina el ancho del obstáculo existente (Figura 5.2).

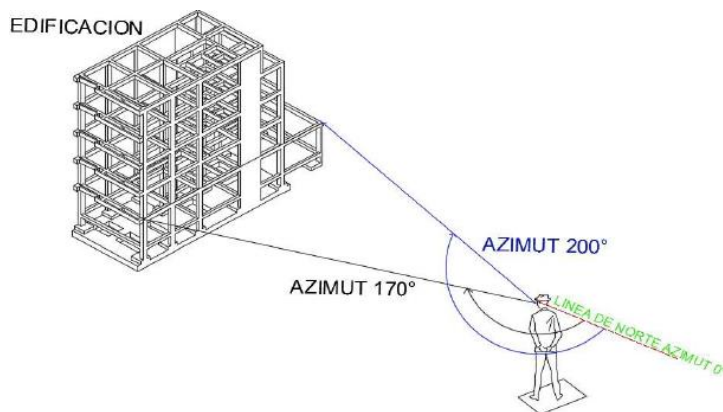


Figura 5.2 Medida de rango de azimut.

Fuente: "Técnicas de Medición Topográficas con GPS de Doble Frecuencia y su Procesamiento con El Software Carlson Survey GNSS"

- d. Posteriormente se mide con el inclinómetro el ángulo vertical existente desde la posible altura del aparato hasta donde termina la altura del obstáculo, al igual que la distancia entre estos (observador-obstrucción) (Figura 5.3).

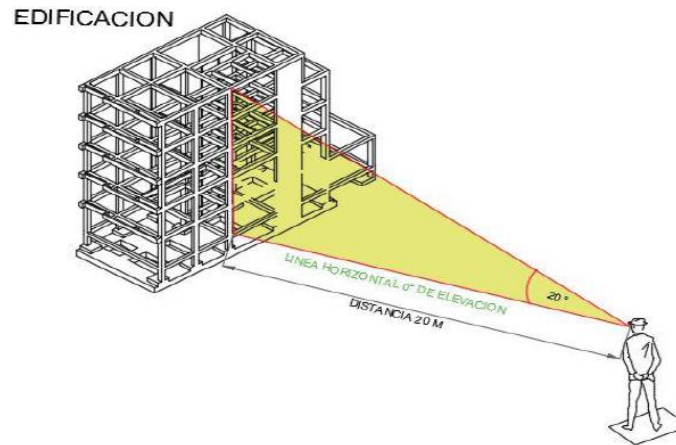


Figura 5.3 Medida de ángulo vertical de un obstáculo.

Fuente: "Técnicas de Medición Topográficas con GPS de Doble Frecuencia y su Procesamiento con El Software Carlson Survey GNSS"

- e. Una vez que se tengan los rangos de azimuth y el ángulo de elevación se debe dibujar en el diagrama los obstáculos observados.

Este diagrama se interpreta de la siguiente manera: el centro es la posición del observador, las líneas radiales son los azimuths y los círculos concéntricos representan las elevaciones.

Por ejemplo, para un edificio de oficinas cuya medida en el rango de azimuth es de 160° a 200° y medida de ángulo vertical es de 20° , tendría un diagrama de obstrucción igual al que se ilustra a continuación (Figura 5.4).

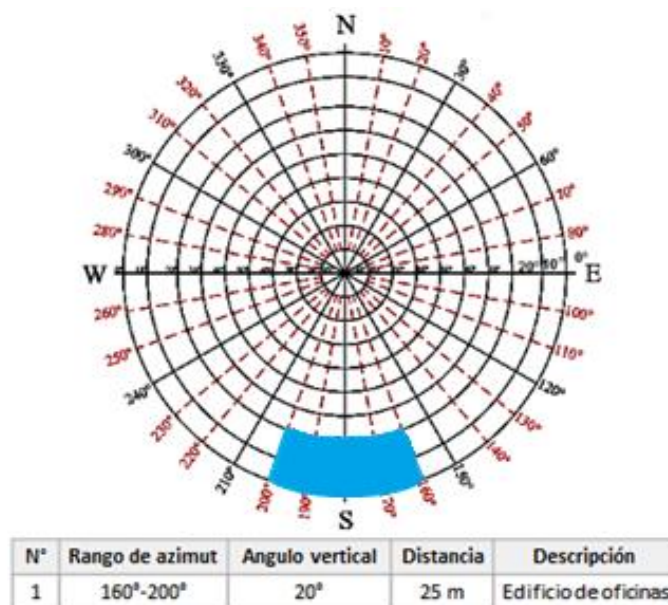


Figura 5.4 Diagrama de obstrucción.

Fuente: "Técnicas de Medición Topográficas con GPS de Doble Frecuencia y su Procesamiento con El Software Carlson Survey GNSS"

- **Obtener permiso de los dueños de la propiedad privada en los lugares de las observaciones**

Considerando el hecho que la gran mayoría de vértices geodésicos se encuentran en propiedades privadas, antes de reconocer un vértice y sus referencias es importante que el jefe de la brigada de campo solicite el permiso a los dueños del terreno, informándoles en términos generales, los trabajos que se pretenden realizar en la zona y la conveniencia o beneficios de establecer una estación geodésica en el lugar, esta solicitud debe ser presentada preferiblemente a través de un escrito otorgado por la institución, en este caso por el Centro Nacional de Registros (CNR), a los propietarios del terreno en el que se ubicará el vértice. De esta manera se evitan inconvenientes como posibles actos de vandalismo y se tiene una mayor certeza de la permanencia de los vértices a lo largo de los años.

Además, cuando se realiza el mantenimiento de los vértices de una red geodésica es importante confirmar estos permisos debido a que las propiedades cambian de dueños continuamente y de igual manera estos pueden negarse a seguir dando el permiso solicitado.

- **Dibujar los esquemas y descripciones preliminares de ubicación del vértice geodésico**

Una vez que se haya definido el lugar adecuado para la monumentación de un vértice se le debe asignar un nombre para su identificación. Resulta conveniente que estos nombres concuerden con el del sitio donde se encuentran, también puede elegirse alguno que este íntegramente relacionado con un accidente geográfico o los propietarios del lugar.

Al realizar la identificación de campo se debe recopilar la mayor cantidad de información posible, lo cual es llevado a cabo elaborando una bitácora (ver anexo A) en la que se recolectan los datos más importantes de forma preliminar.

Algunos datos a registrar son los siguientes:

- Descripción del estado de los vértices y marcas de azimut en caso de mantenimiento de la red.
- Verificar las referencias o señales que permiten la visualización del vértice y su marca de azimut, y especificar el estado actual en el que se encuentran. De igual forma se debe registrar a las referencias todavía existentes, su distancia al vértice y valor de azimut.
- Información de las características geográficas del sitio y de sus alrededores, así como aspectos que sobresalen en el paisaje y direcciones para llegar al sitio.

- Igualmente es conveniente adicionar fotografías, bosquejos y todo aquello que contribuya a mostrar la realidad observada de la forma más completa.

En base a la bitácora generada se procede a la elaboración del informe técnico de la descripción del vértice geodésico, la cual consiste en una explicación detallada de la localización del punto donde se encuentra materializado y su respectivo mapa de ubicación (Ver anexo B). Además es útil para una planificación más certera del proceso de monumentación, el cual será definido en páginas posteriores.

5.2.3 Estado Actual de la Red Geodésica de Sonsonate

El estado actual de la Red Geodésica de Sonsonate es de un 80% en buen estado, es decir los vértices geodésicos y las marcas de azimuth se encuentran en buenas condiciones físicas, necesitando solamente de pequeñas reparaciones en sus aristas y el brecheo correspondiente para mejorar la máscara de elevación.

El 20% corresponde a vértices destruidos y estos están ubicados en la zona sur del departamento; específicamente los ubicados sobre la franja costera, la cual por ser una zona bastante habitada, los pobladores han removido o destruido los monumentos (Figuras 5.5).



Figura 5.5 Vértices geodésicos destruidos y obstruidos.

Fuente: Propia

Por tanto se realizaron nuevos reconocimientos en esta zona y solicitud de los permisos correspondientes para poder ubicar nuevos vértices geodésicos.

Por lo que en la siguiente etapa se realizará el amojonamiento de nuevos vértices y marcas de azimut correspondientes.

5.2.4 Monumentación

La siguiente actividad por realizar es la monumentación o establecimiento en físico de los vértices geodésicos, la cual puede ser ejecutada por las mismas brigadas de reconocimiento, siguiendo las especificaciones de la institución u organismo encargado de la administración de redes geodésicas. En El Salvador dicha labor corresponde al Instituto Geográfico y Catastro Nacional (IGCN) del Centro Nacional de Registro (CNR).

Las normas generales utilizadas en la etapa de monumentación son las siguientes:

1. Cada estación o punto de la red geodésica debe ser establecido permanentemente en el terreno, a través de la construcción de monumentos de concreto armado (ver anexo C) y pernos o placas embebidos en concreto, estos deberán ser, en lo posible, estables y permanentes en el tiempo y cumplir con las condiciones mínimas para observaciones GPS.
2. Para conseguir la perdurabilidad de los vértices y evitar la posible pérdida y destrucción de los mismos se les asignará, además de la marca de azimut, marcas de referencia cuyas características dependerán de las circunstancias locales.
3. Estas marcas de referencia facilitan la localización inequívoca del vértice principal, pueden estar constituidas por pernos en roca dura, árboles, monumentos similares al vértice pero de menor tamaño, esquinas de muros, etc. Generalmente se definen 3 referencias situadas a distancias cortas, las cuales

son enumeradas a partir del norte franco, en el sentido de las manecillas del reloj y registradas con su respectiva dirección (azimut) y distancia. A cada marca de azimut también se le debe especificar sus propias referencias de ser posible.

4. Preferiblemente todo monumento deberá constar de una placa de identificación empotrada en el mismo, en la cual estarán grabados datos como: organismo que estableció el monumento, año en que se posicionó el vértice geodésico, tipo de levantamiento, designación y marca central precisa en la que se toman las medidas (Figura 5.6).

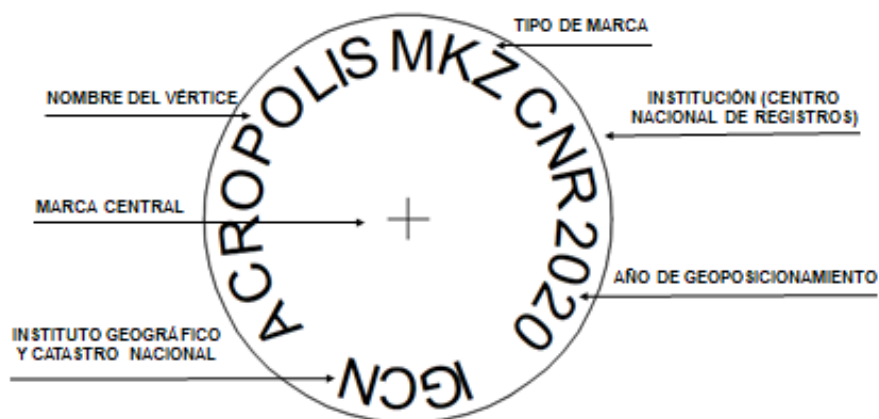


Figura 5.6 Diseño de placa geodésica.

Fuente: Elaboración propia

Monumentación de la Red Geodésica del Departamento de Sonsonate.

El tipo de vértice a ser establecido dependerá del tipo de red geodésica y del informe de reconocimiento efectuado. El proceso de monumentación puede ser desarrollado en tres tipos de estructuras que a pesar de ser físicamente iguales, se establecen con diferentes propósitos, estas son: los vértices geodésicos, marcas de azimut y marcas de referencia.

En relación a la etapa de monumentación de vértices realizada en la red geodésica del Departamento de Sonsonate, esta fue llevada a cabo de acuerdo a las siguientes metodologías.

1. Vértices geodésicos

Estos vértices en su mayoría son construidos in situ con concreto reforzado, por lo que se debe de disponer de todos los elementos y materiales necesarios para su elaboración, los cuales son los siguientes:

1. Pernos
2. Cemento Portland
3. Grava
4. Arena
5. Agua
6. Pala Dúplex
7. Nivel
8. Almádana
9. Alambre de amarre
10. Alambre corrugado
11. Moldes para encofrado (madera y acero)
12. Pintura en aerosol, etc.

Para la materialización se realiza una excavación de aproximadamente 0.60 m de profundidad y con un ancho suficiente para la colocación de una armadura de acero de refuerzo (castillo), la cual tiene una longitud cercana a los 0.75 m.

Una vez finalizada la excavación y la elaboración de la armadura de acero, se procede a la realización de la mezcla de concreto (mortero) en proporción 1:2:2 con cemento Portland, la cual será posteriormente vertida dentro de los moldes.



Figura 5.7 Actividades de monumentación: excavación, armado de acero y realización de mezcla.

Fuente: Propia

Luego del vaciado de concreto y aun cuando este se encuentra fresco se procede a la colocación del perno, el cual será previamente marcado para una correcta medición. Posteriormente, cuando el concreto se encuentra en su etapa de fraguado se lleva a cabo el desencofrado del vértice y su acabado final.

Finalmente se procede a pintar la superficie del vértice para una mejor visualización.



Figura 5.8 Actividades de monumentación: vaciado de concreto y acabado final del vértice.

Fuente: Propia

Como resultado de esta materialización se obtiene un vértice geodésico consistente en un mojón de concreto en forma de pirámide truncada con base superficial, y perno de acero (Mojón tipo III modificado). Este tipo de vértices pueden ser construidos casi en cualquier tipo de suelo, siempre y cuando las condiciones lo permitan.

Los vértices geodésicos también pueden consistir de pernos embebidos en estructuras ya existentes como patios de secado o placas circulares de aluminio debidamente identificadas (Figura 5.9).



Figura 5.9 Vértices geodésicos en estructuras existentes y placas geodésicas.

Fuente: Propia

2. Marcas de azimut

Cada estación geodésica está constituida por un vértice y su respectiva Marca de azimut o vértice de vista atrás (MKZ), cuya finalidad es garantizar la estabilidad y perdurabilidad de la red a largo plazo, además de servir como punto de partida en la realización de levantamientos topográficos.

Las marcas de azimut, al igual que los vértices, serán fijadas de acuerdo a las condiciones del terreno, normalmente consisten en mojones de concreto de forma piramidal truncada con perno de acero, de tamaño similar a los vértices pero sin base

superficial, también pueden estar constituidas por placas metálicas circulares o pernos embebidos en concreto sobre estructuras ya existentes (Figura 5.10).



Figura 5.10 Marcas de azimut.

Fuente: Propia

Los datos a registrar de estas marcas son, la distancia entre esta y el vértice, la cual debe ser mayor a los 80 metros, su orientación (azimut) y su nombre, este último es asignado como MKZ seguido del nombre dado al vértice al que complementan.

3. Marcas de referencia

Son objetos fijos cuya distancia hacia los vértices y marca de azimut es conocida y que sirven para determinar el lugar donde estos se sitúan, en caso que la topografía del lugar cambie al pasar de los años y su descripción no coincida con la generada al momento de su fundación.

Las marcas de referencia pueden ser naturales, como por ejemplo árboles de gran altura, esquinas en muros y edificios, postes de alumbrado o rocas de tamaño considerable con pernos embebidos en concreto, sin embargo, también pueden constar de mojoneros, al igual que los vértices y marcas de azimut, pero con un tamaño menor al de estos (Figura 5.11).

Generalmente cada vértice y azimut posee tres referencias, las cuales son enumeradas partiendo del norte franco en el sentido de las manecillas del reloj y para su registro se determinan su distancia hasta el vértice y orientación o azimut.



Figura 5.11 Tipos de marcas de referencia.

Fuente: Propia

5.2.5 Medición GPS

Una vez finalizada la materialización de la red geodésica, se lleva a cabo la medición GPS. En nuestra red de estudio se han utilizado equipos Trimble R8s y Trimble R4, con un total de 2 sesiones diarias desarrolladas por 5 brigadas de campo.

Este proceso de medición se ha realizado de la siguiente manera.

1. Determinación de parámetros de medición

Los parámetros establecidos para las observaciones realizadas son: ángulo de medición de 10° sobre el horizonte (máscara de elevación), intervalos de grabación de datos cada 15 segundos y un tiempo de medición de dos horas en cada vértice y marca de azimut.

2. Instalación del equipo

- Posicionar y nivelar el trípode con base nivelante sobre el vértice a medir, haciendo coincidencia con el punto de control a través de la plomada óptica.

- Enroscar el soporte (bastón) al receptor GPS y luego acoplar estos al trípode.



Figura 5.12 Receptor GPS acoplado y nivelado.

Fuente: Propia

- Medir la altura de la antena, este valor se mide de forma inclinada desde el punto de control del vértice hasta el centro del tope protector.

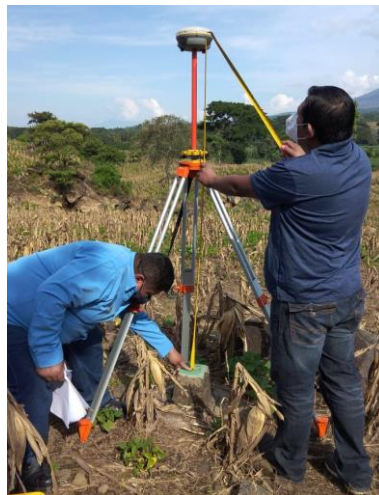


Figura 5.13 Medición de altura.

Fuente: Propia

- Encender el equipo y esperar unos minutos mientras se rastrea la señal de los satélites.
- Proceder a la toma de datos.

Al momento de dar inicio a las mediciones GPS, la persona encargada llena el formulario correspondiente (Ver anexo D). En este se muestra información general referente al levantamiento, datos de la sesión y antena Trimble utilizada, los cuales son de gran importancia para el procesamiento de datos ya que permiten comparar los datos de campo con los datos registrados por el equipo.

3. Toma de datos

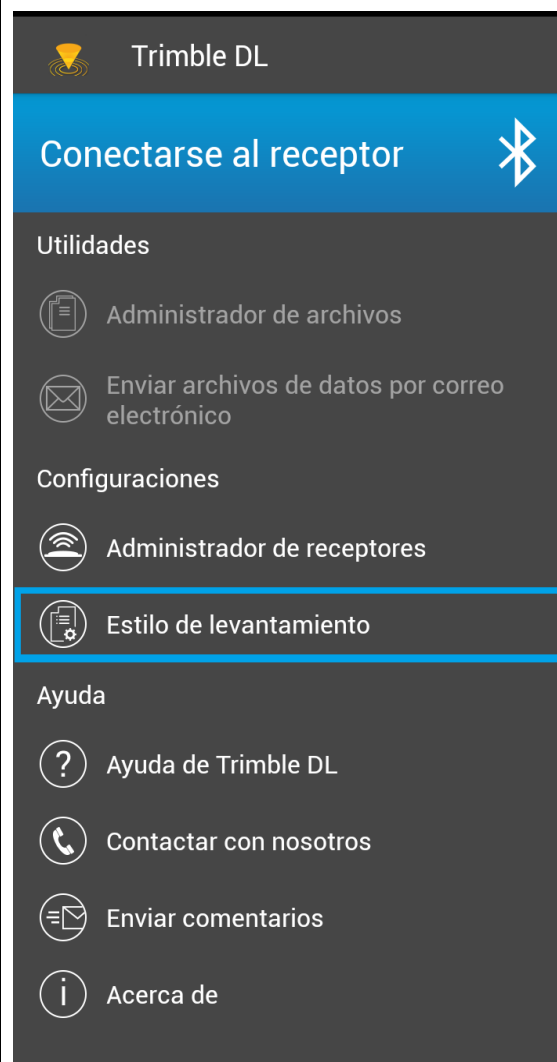
Para la toma de datos se ha utilizado la aplicación Trimble DL, la cual es una herramienta sencilla que permite el registro de datos GNSS sin procesar con los receptores Trimble GNSS actuales, tal es el caso de los Trimble R8s y Trimble R4 utilizados en este trabajo. Trimble DL permite realizar levantamientos GNSS estáticos, administrar archivos de datos sin procesar en el receptor GPS y enviarlos por correo electrónico o WhatsApp a la oficina directamente desde un dispositivo Android.

Los pasos utilizados para este registro de datos han sido los siguientes:

<p>1. Ingresar desde un dispositivo Android (teléfono o Tablet) a la aplicación Trimble DL.</p>	<p>2. Una vez dentro de la aplicación, activar la conexión a Bluetooth y elegir la opción “Administrador de receptores”</p>
	

3. Ésta opción permite conectarse al receptor GPS y visualizar todos los demás receptores disponibles, en caso de tenerlos. Para el ejemplo se presenta la conexión a un receptor Trimble R8s.

4. Cuando se tenga conexión al receptor se debe volver a la ventana principal y elegir la opción “Administrador de receptores”



5. Dentro de la opción “Estilo de levantamiento”, se definirán los parámetros a utilizar, el primero de ellos es el valor de altura de antena y sus respectivas unidades, ejemplo: 1.595 en metros

6. Los siguientes parámetros a definir están relacionados a la medición. En “Método de medición”, de la lista desplegable, seleccionar la opción “Estático”, el cual será utilizado en este caso en particular.

Estilo de levantamiento

Antena

Altura	Unidades
1.595	metros

Medición

Método de medición ⓘ
Estático

Intervalo de registro
 15.00 s

Máscara de elevación
 15.00°

Máscara satélite

<input checked="" type="checkbox"/> GLONASS	<input checked="" type="checkbox"/> Galileo
<input checked="" type="checkbox"/> BeiDou	<input checked="" type="checkbox"/> QZSS

Advertencia PDOP
 6.00

Estilo de levantamiento

Antena

Altura	Unidades
1.595	metros

Medición

Método de medición ⓘ
Estático

Intervalo de registro
 15.00 s

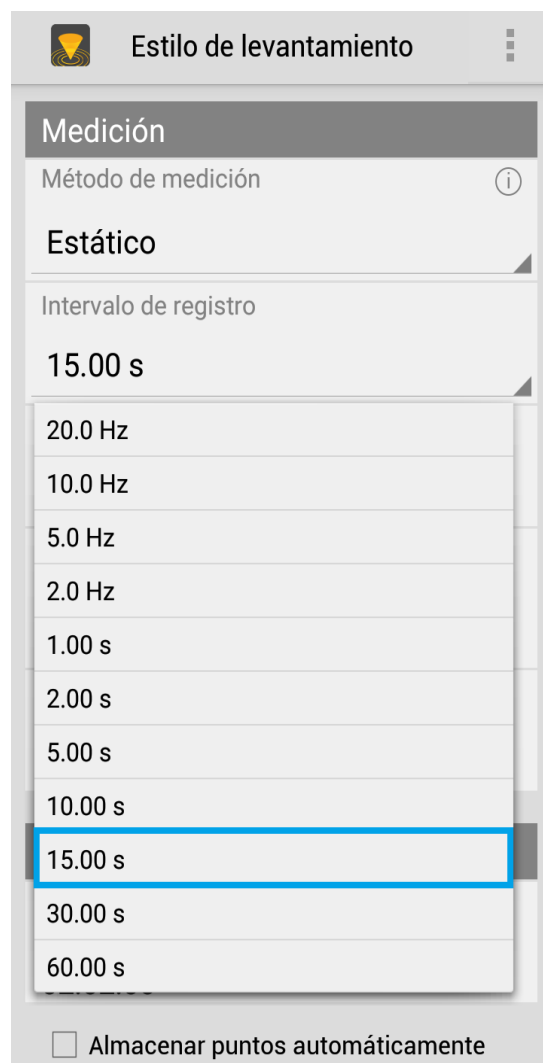
Máscara de elevación
 15.00°

Máscara satélite

<input checked="" type="checkbox"/> GLONASS	<input checked="" type="checkbox"/> Galileo
<input checked="" type="checkbox"/> BeiDou	<input checked="" type="checkbox"/> QZSS

Advertencia PDOP
 6.00

7. En el menú “Intervalo de registro”, elegir de la lista desplegable la opción “15.00 s”, este valor fue definido anteriormente.



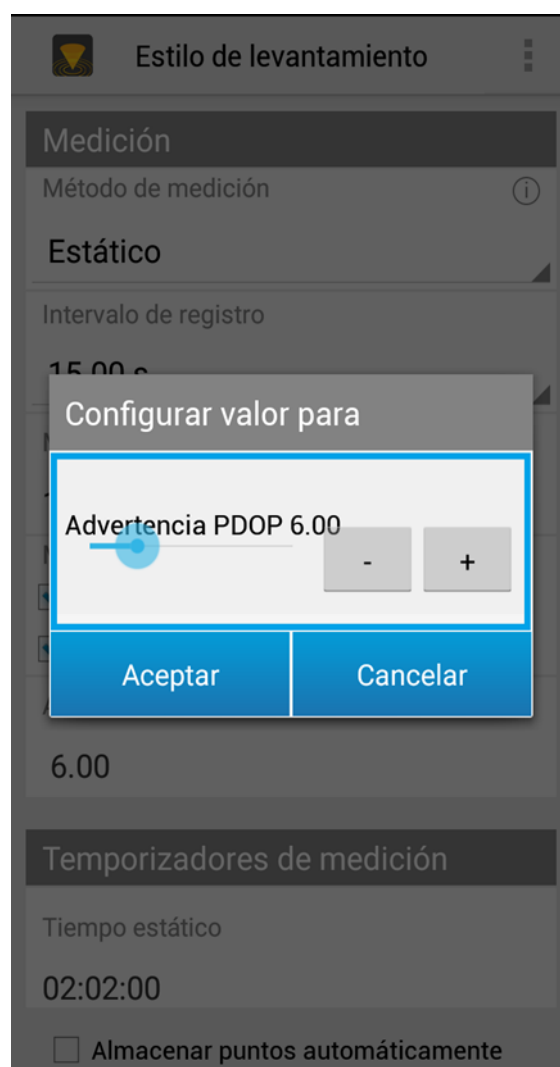
8. El siguiente parámetro a configurar es la máscara de elevación, el cual será fijado en 10°. Para este tipo de medición este valor puede ser de 10° a 15°.



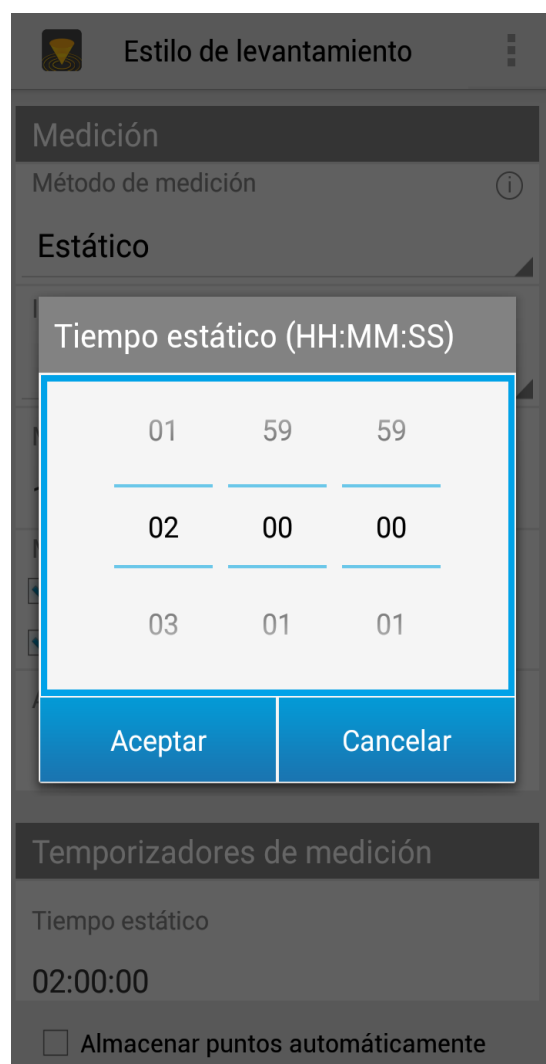
9. En la opción “Mascara de satélites” se podrá seleccionar entre otros GNSS adicionales al sistema GPS. Se seleccionarán todos los sistemas disponibles.



10. En la opción “Advertencia PDOP”, se asignará un valor de 6.0. El valor PDOP es importante ya que mientras este no supere el valor asignado, se garantiza la precisión en las mediciones.



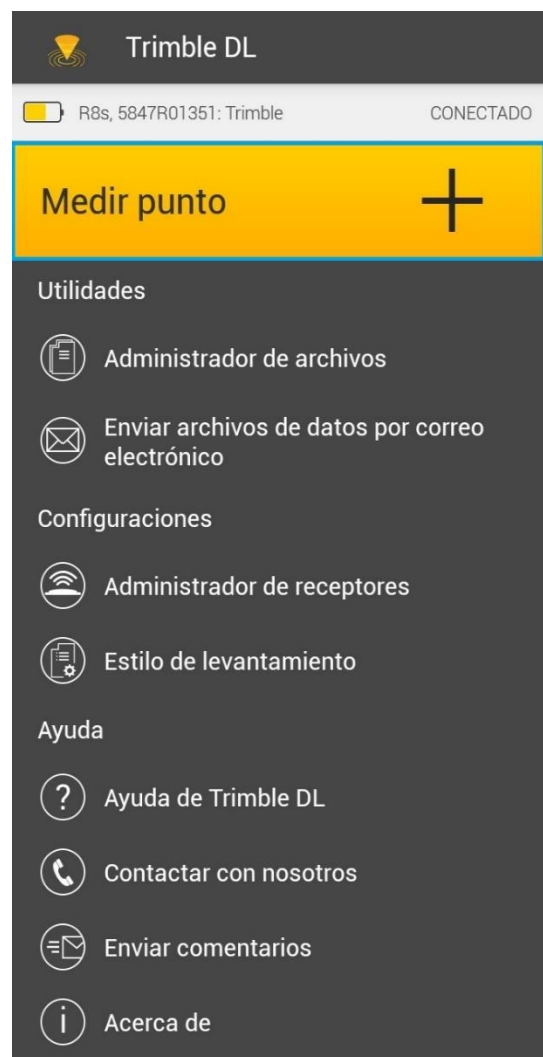
11. En el menú “Temporizadores de tiempo” establecer el tiempo de medición, el cual será, para este caso de 2.00 horas.



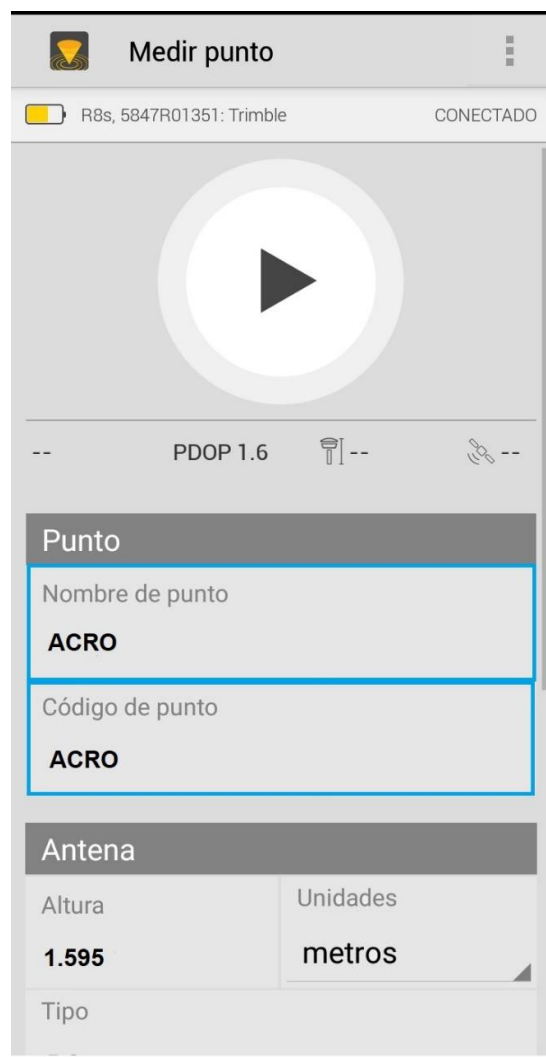
12. La opción, “Almacenar puntos automáticamente” deberá activarse siempre y cuando no se tenga previsto suspender o aumentar el tiempo de medición programado.



13. Al volver a la pantalla principal de la aplicación, aparece la opción “Medir punto”, la cual deberá ser seleccionada.



14. Esta opción permite asignar el nombre del punto a medir, así como verificar los parámetros de antena, previamente asignados.



15. En la pestaña de los parámetros de antena es importante definir la forma en la que se ha determinado la altura de la misma, para este tipo de medición, la altura se ha tomado desde el “Centro del tope protector”.

16. Una vez verificados los parámetros, se inicia la medición, seleccionando el botón “Play”. Es importante observar que el valor de PDOP se encuentre dentro de los parámetros establecidos, al igual que el número de satélites.

Medir punto

R8s, 5847R01351: Trimble CONECTADO

ACRO

Antena

Altura: 1.595 Unidades: metros

Tipo: R8s

Medido a: **Centro del tope protector**

Número de serie: 47R01351 Número de pieza: 97080-xx

Medición

Método de medición: Estático

Intervalo de registro: 15.00 s

Medir punto

R8s, 5847R01351: Trimble CONECTADO

Ocupación: 00:00:33 Queda: 01:59:27

Almacenar

Estático PDOP 1.6 1.595 m 11

Punto

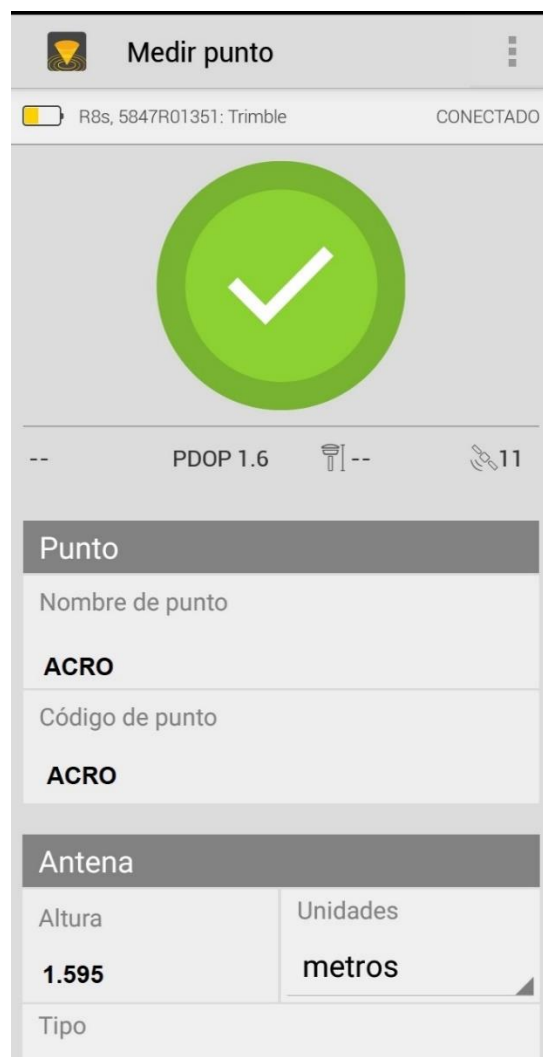
Nombre de punto: ACRO

Código de punto: ACRO

Antena

Altura: 1.595 Unidades: metros

17. Finalizada la medición se visualizará el botón en color verde, tal como se muestra en la imagen.



18. Para compartir los datos recolectados se debe ingresar a la opción “Enviar archivo de datos por correo electrónico” de la ventana principal, la cual permite a acceder al archivo creado.



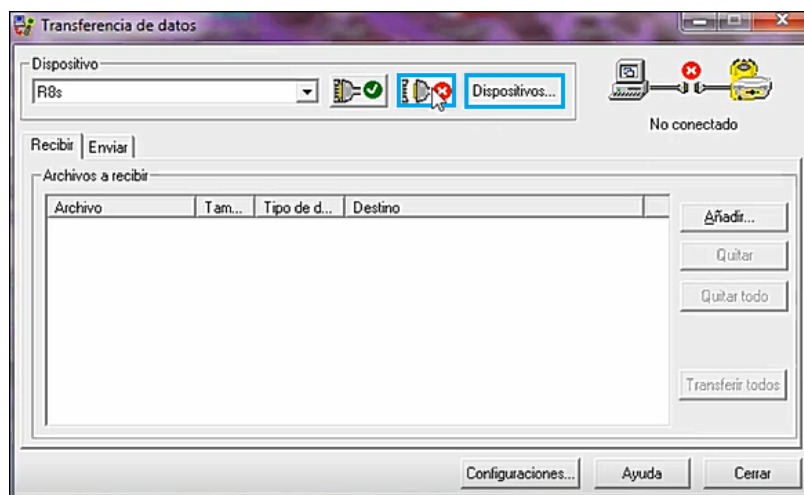
4. Descarga de datos

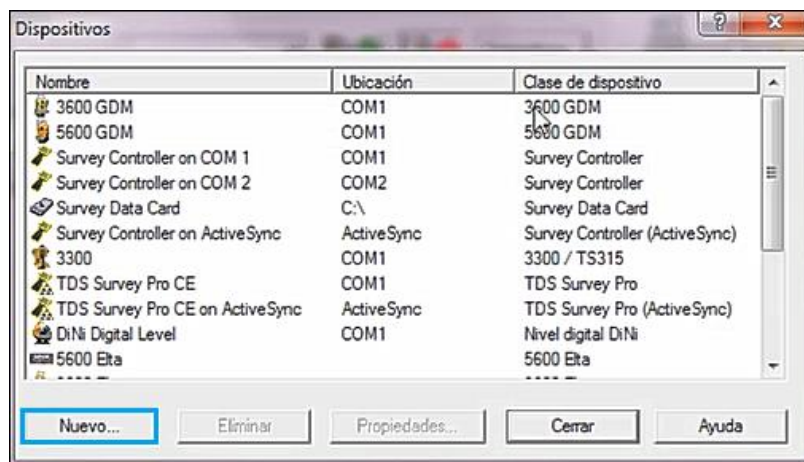
Finalizada la etapa de medición, se procede a la descarga de datos, si bien la aplicación utilizada Trimble DL permite el envío de datos directamente desde el dispositivo Android utilizado hacia un correo electrónico o WhatsApp, para una descarga directa, estos datos pueden ser descargados desde el equipo GPS utilizado hacia una PC portátil o de escritorio.

Para este proceso de descarga se ha utilizado el software Trimble Data Transfer, el cual transfiere datos desde una gran cantidad de dispositivos a la PC. Estos datos pueden ser posteriormente importados a programas como Trimble Geomatics Office, Terramodel, Trimble Total Control, etc.

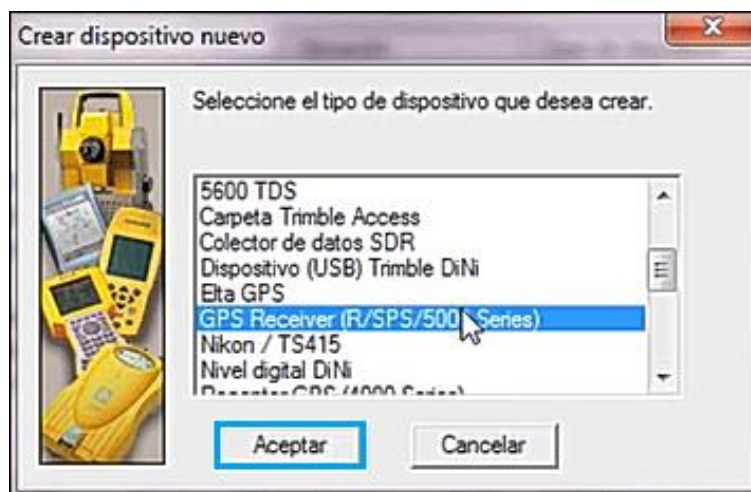
Los pasos a seguir se definen a continuación:

1. Abrir el programa Trimble Data Transfer
2. En la ventana “Transferencia de datos” activar el botón “Desconectar” para acceder a la opción “Dispositivos”, como se muestra en las imágenes siguientes.

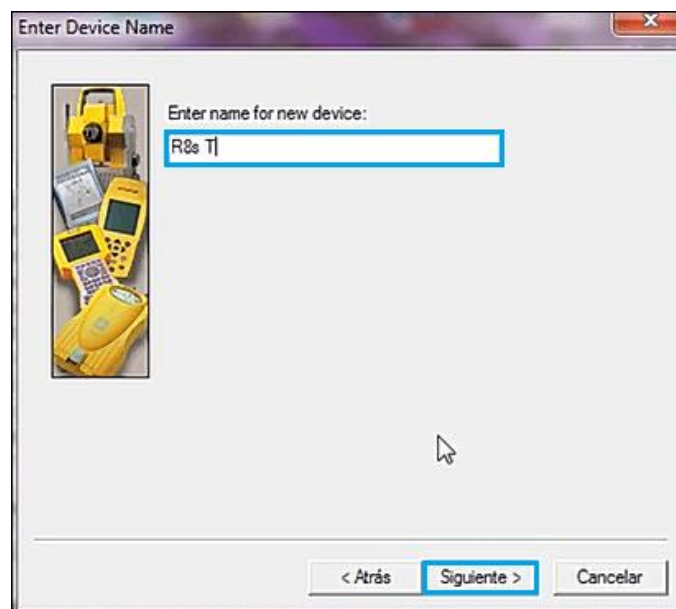
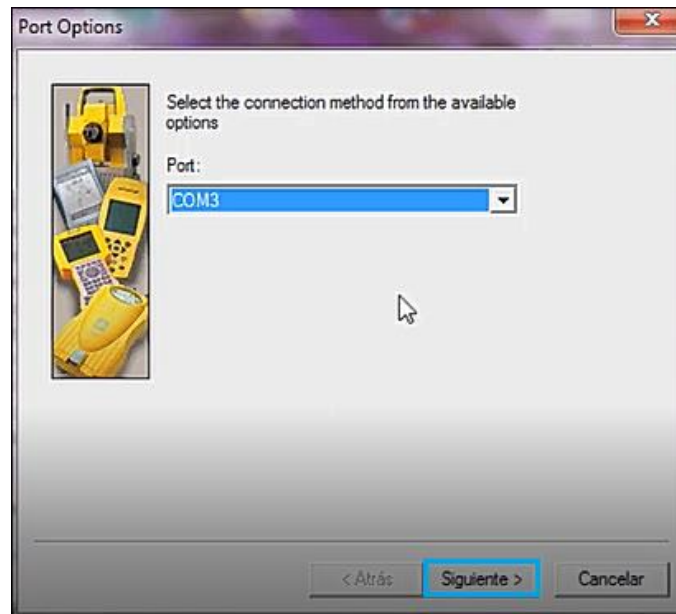




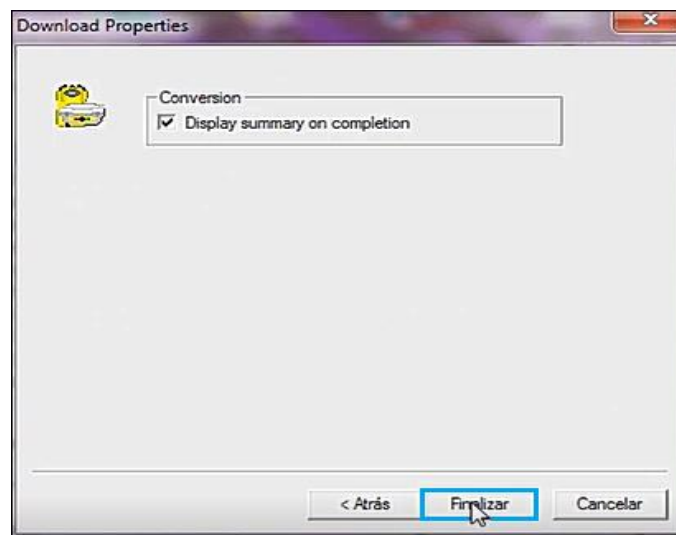
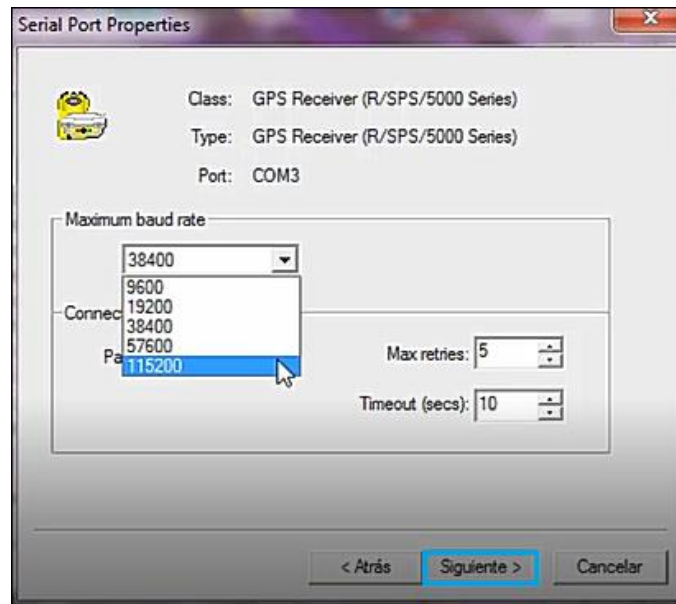
3. En la ventana “Crear dispositivo nuevo”, seleccionar el tipo de dispositivo eligiendo la opción “GPS Receiver (R/SPS/500 Series). Luego dar click en “Aceptar”



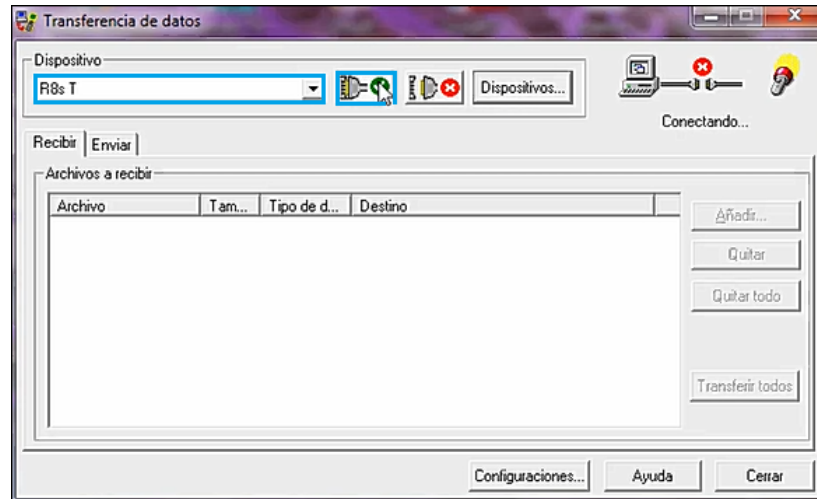
4. A continuación en “Port Options” se debe seleccionar el puerto de conexión disponible y luego en la ventana siguiente, asignar el nombre al nuevo dispositivo, para este caso será llamado “R8s T”.



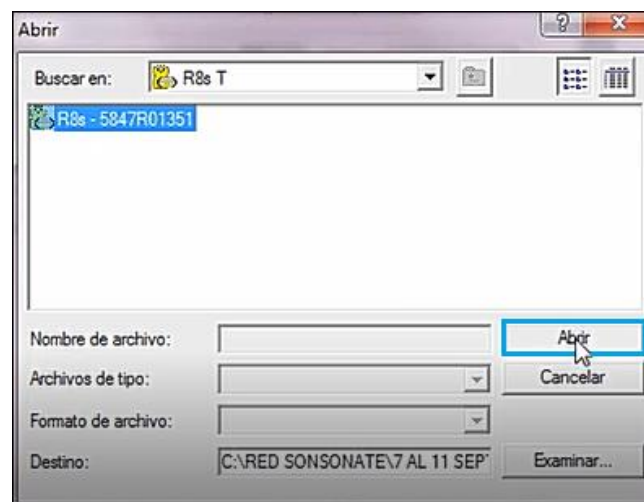
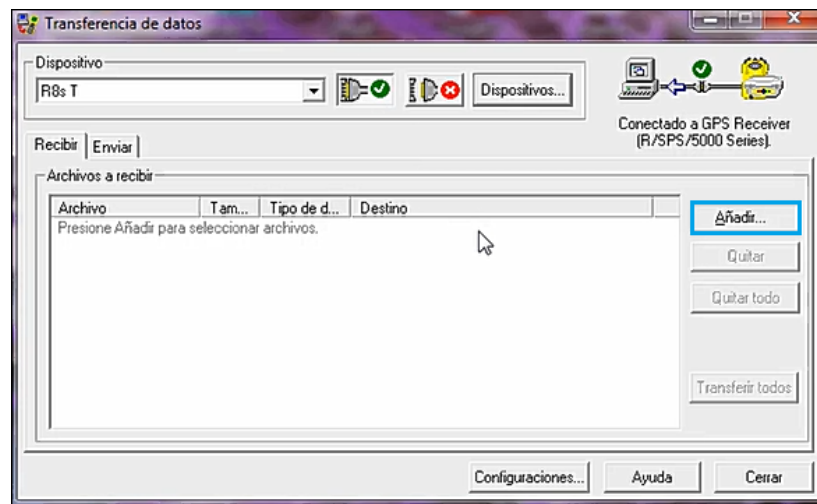
5. En la ventana "Serial Port Properties" se debe especificar la velocidad máxima en baudios, continuando hasta "Finalizar" el proceso en "Download Properties".



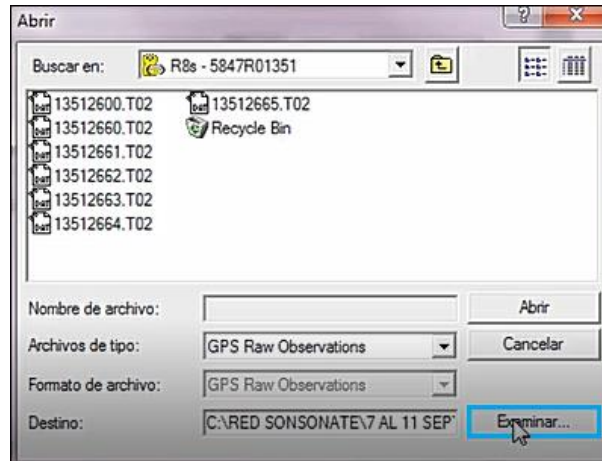
6. Volviendo a la ventana "Transferencia de datos" activar el botón "Conectar" y en la lista desplegable elegir el dispositivo creado en el numeral 4 (R8s T).



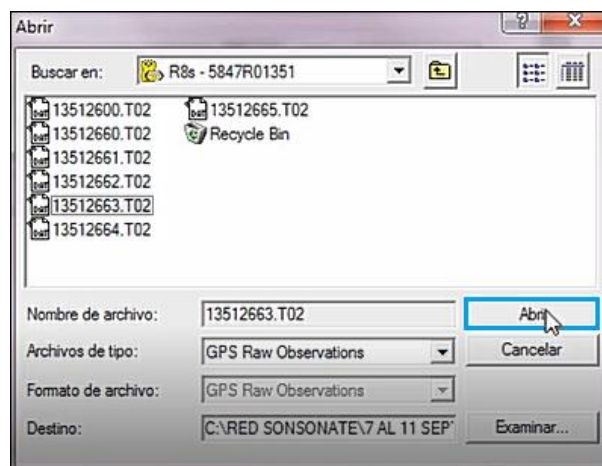
7. Una vez seleccionado el dispositivo correcto, el programa permite “Añadir” y posteriormente “Abrir” los archivos de datos crudos.

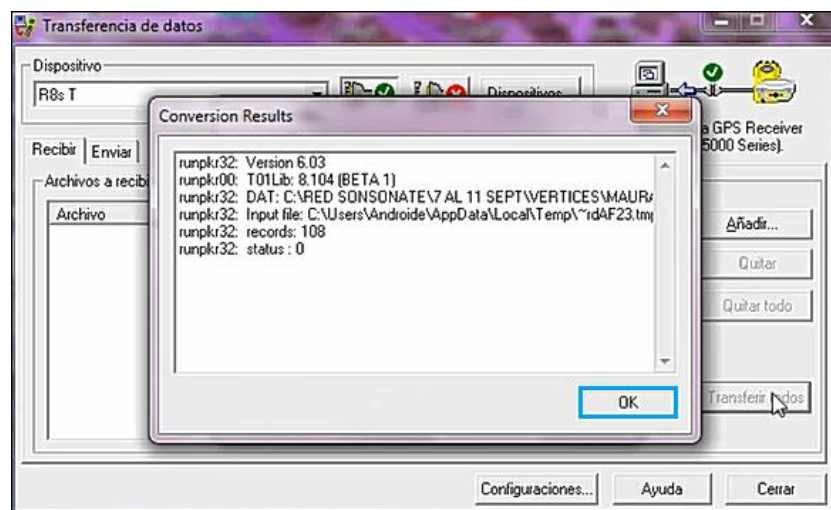
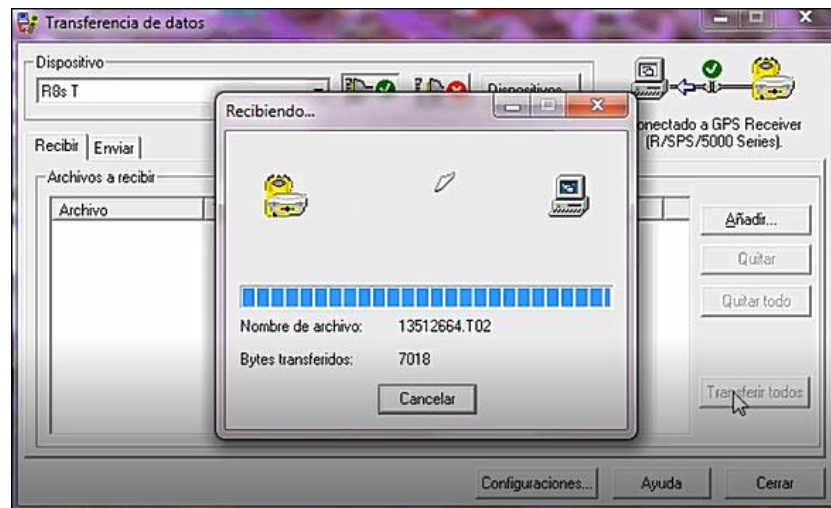
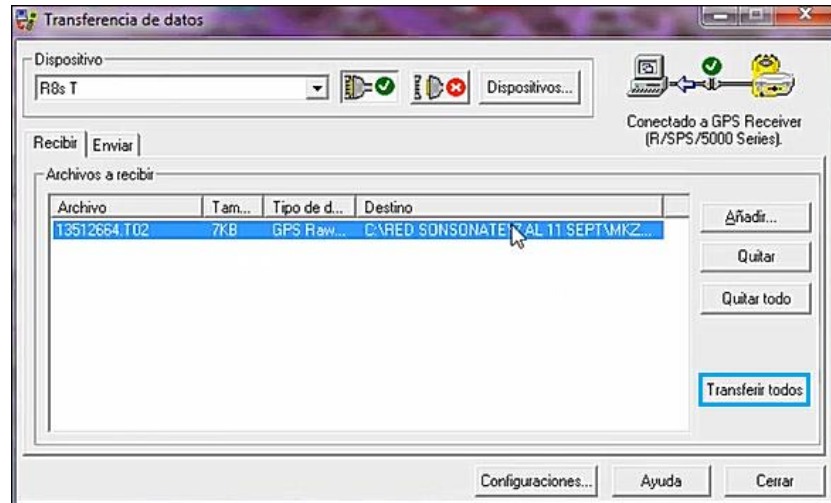


8. Luego dar click en “Examinar” para determinar el destino o la carpeta donde se deseen guardar los datos descargados.



9. Para finalizar, seleccionar, abrir y transferir los archivos de datos crudos que sean requeridos, tal como se observa en las imágenes siguientes.





5.2.6 Cálculo de Coordenadas de Amarre de la Red SIRGAS-ES2007.8 para la Red Geodésica de Sonsonate

La nueva red geodésica estará vinculada a la Red SIRGAS-ES2007, y los valores de coordenadas geodésicas a ser utilizadas, serán determinados de acuerdo al procedimiento establecido por el Instituto Geográfico y del Catastro Nacional IGCN, en el documento Integración de la Red Geodésica Básica Nacional de El Salvador a SIRGAS (SIRGAS-ES2007).

Cambio de época de las Coordenadas de Referencia

Debido a que las velocidades de las estaciones bases de referencia pueden ser calculadas, estas serán utilizadas para trasladar las coordenadas de la época de referencia a la época de observación, es decir, en este caso específico las coordenadas de las estaciones SIRGAS-ES2007 a utilizar se llevarán de la época 2007.8 a la época 2020.7883, la cual ha resultado como año promedio de las observaciones GPS realizadas. Dicho traslado se hará utilizando las siguientes ecuaciones.

$$X(t) = X(t_0) + (t - t_0) * V_x$$

$$Y(t) = Y(t_0) + (t - t_0) * V_y$$

$$Z(t) = Z(t_0) + (t - t_0) * V_z$$

Siendo:

X (t), Y (t), Z (t), las coordenadas en la época deseada,

X (t₀), Y (t₀), Z (t₀), las coordenadas en la época de referencia,

(t - t₀), el intervalo de tiempo transcurrido entre la realización del sistema de referencia y el levantamiento GNSS, y

V_x, V_y, V_z, las velocidades de la estación de referencia.

Cálculo de coordenadas a la época deseada, semana GPS 2127.4, correspondiente a la fecha promedio de las observaciones (15 de octubre de 2020).

a) Cálculo de $(t - t_0)$

2020.7883	Año promedio de las observaciones GNSS
<u>2007.8000</u> -	Realización del Sistema SIRGAS-ES
12.9883	Intervalo de tiempo transcurrido $(t-t_0)$

b) Cálculo de Las Velocidades: V_x , V_y y V_z

Estas han sido calculadas a través del modelo de velocidades (VEMOS: Velocity Model for SIRGAS) en su versión 2009. Las estaciones de referencia utilizadas son: Hacienda Sihuapilapa (HSIH) y NOA 1 (NOA1) (Ver anexo E).

Interpolated from VEMOS2009 in ITRF2005 (Drewes and Heidbach 2009)

Station	Latitude	Longitude	v(Lat)	v(Long)	v(X)	v(Y)	v(Z)	no
HSIH	13.520	-89.609	0.0064	0.0062	0.0062	0.0015	0.0062	3
NOA 1	13.581	-89.833	0.0062	0.0059	0.0059	0.0015	0.0060	3

Tabla 5.1 Velocidades de estaciones de referencia

c) Coordenadas geocéntricas de estaciones de referencia, época 2007.8

Nombre	ID	X[m]	Y[m]	Z[m]
Hacienda Sihuapilapa	HSIH	42309.969	-6202390.593	1481406.776
NOA 1	NOA1	18107.035	-6200928.480	1487983.640

Tabla 5.2 Coordenadas de vértices de referencia, Red Geodésica Básica Nacional (SIRGAS-ES2007). Época 2007.8.

Fuente: C.E Figueroa, W. Amaya, "Integración de la Red Geodésica Básica Nacional de el Salvador a SIRGAS (SIRGAS-ES2007)"

d) Cálculo de Coordenadas Geocéntricas aplicando las fórmulas

$$X(t) = X(t_0) + (t - t_0) * V_x$$

$$Y(t) = Y(t_0) + (t - t_0) * V_y$$

$$Z(t) = Z(t_0) + (t - t_0) * V_z$$

Vértice Hacienda Sihuapilapa, HSIH

$$X(t) = 42309.969 + (12.9883) * 0.0062$$

$$X(t) = 42310.04953$$

$$Y(t) = -6202390.593 + (12.9883) * 0.0015$$

$$Y(t) = -6202390.574$$

$$Z(t) = 1481406.776 + (12.9883) * 0.0062$$

$$Z(t) = 1481406.857$$

Vértice NOA 1

$$X(t) = 18107.035 + (12.9883) * 0.0059$$

$$X(t) = 18107.11163$$

$$Y(t) = -6200928.480 + (12.9883) * 0.0015$$

$$Y(t) = -6200928.461$$

$$Z(t) = 1487983.640 + (12.9883) * 0.0060$$

$$Z(t) = 1487983.718$$

Nombre	ID	X[m]	Y[m]	Z[m]
Hacienda Sihuapilapa	HSIH	42310.04953	-6202390.574	1481406.857
NOA 1	NOA1	18107.11163	-6200928.461	1487983.718

Tabla 5.3 Coordenadas Geocéntricas de vértices de referencia, Red Geodésica Básica Nacional (SIRGAS-ES2007), época de observación 2020.7883.

e) Coordenadas Geográficas SIRGAS 2007/ITRF2005 Época 2020.7883.

Este proceso de cálculo ha sido realizado a través del Software Geographic Calculator (Ver anexo F).

Nombre	Código	Latitud	Longitud	Elevación
Hacienda Sihuapilapa	HSIH	N 13°31'12.12007"	O 89°36'32.97174"	12.849 m
NOA I	NOAI	N 13° 34'52.21510"	O 89° 49' 57.69515"	17.830 m


Tabla 5.4 Coordenadas geográficas de estaciones de referencia, época 2020.7883

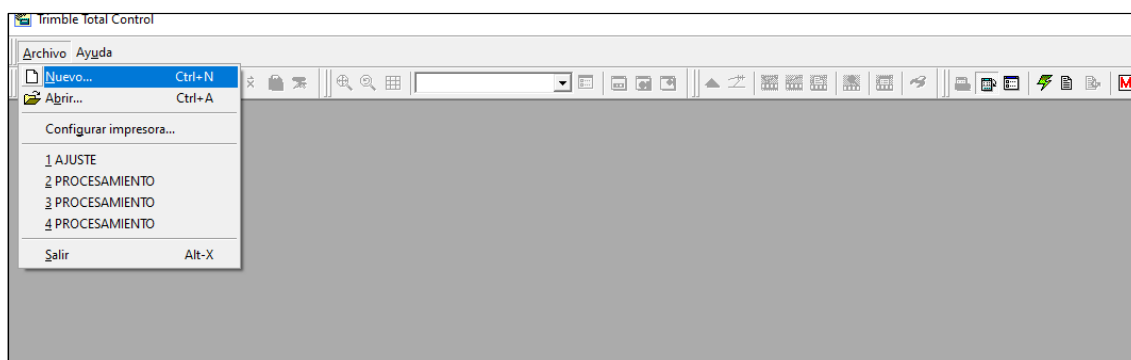
5.2.7 Procesamiento y Ajuste de la Red Geodésica

Una vez completada la descarga de datos crudos y la preparación de coordenadas de amarre, se realizó el procesamiento y ajuste de la red geodésica. Para ello se ha utilizado Trimble Total Control, el cual es un software de post-proceso topográfico para datos GPS y datos de estación total que proporciona una capacidad de control geodésico excepcional, además de potentes herramientas y procesamiento para permitir que grandes conjuntos de datos se procesen con extrema rapidez, con análisis e informes extensos.

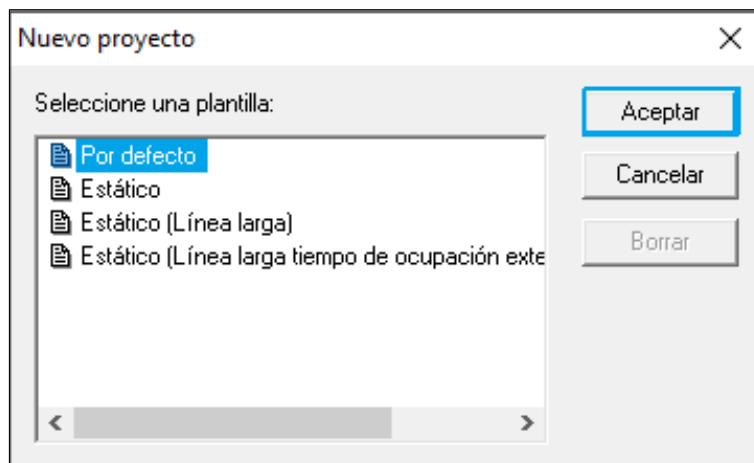
Es importante que, antes de iniciar el post-procesamiento de datos se cree una carpeta para almacenar el proyecto completo, esta deberá de contener diferentes sub carpetas identificadas para datos crudos, procesamiento y ajuste de la red geodésica respectivamente. Además deberá guardarse en el Disco Local del computador.

Metodología utilizada para el procesamiento de la red geodésica

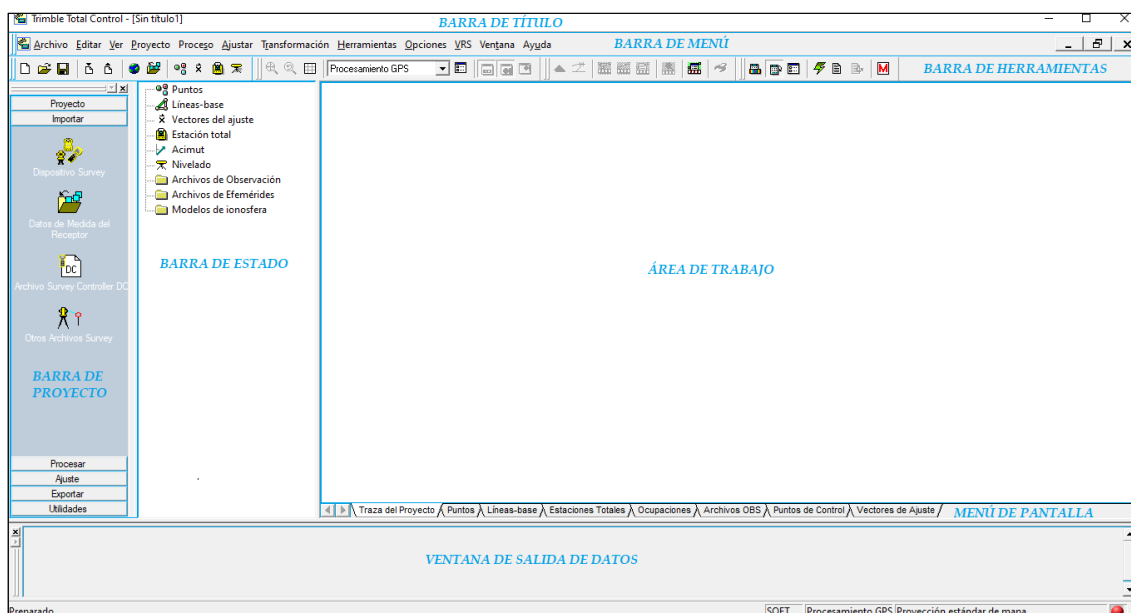
1. Abrir el programa Trimble Total Control
2. Luego seleccionar el menú “Archivo”/ “Nuevo”, para dar inicio al trabajo. Este paso puede llevarse a cabo ingresando directamente desde el ícono Nuevo 




3. A continuación entre las plantillas seleccionar “Nuevo proyecto”, elegir la opción “Por defecto” y “Aceptar”

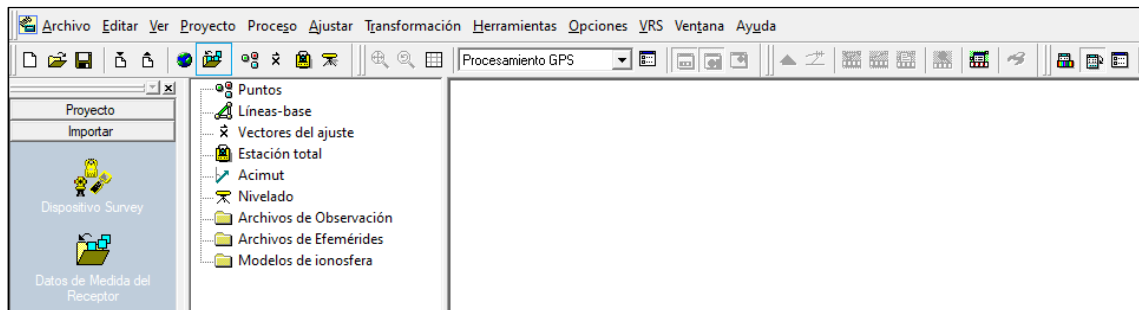


4. Aparecerá la interfaz que se muestra a continuación, en la que se nombran cada una de las partes que integran la ventana y de las cuales se estará haciendo referencia en algunos de los numerales siguientes.

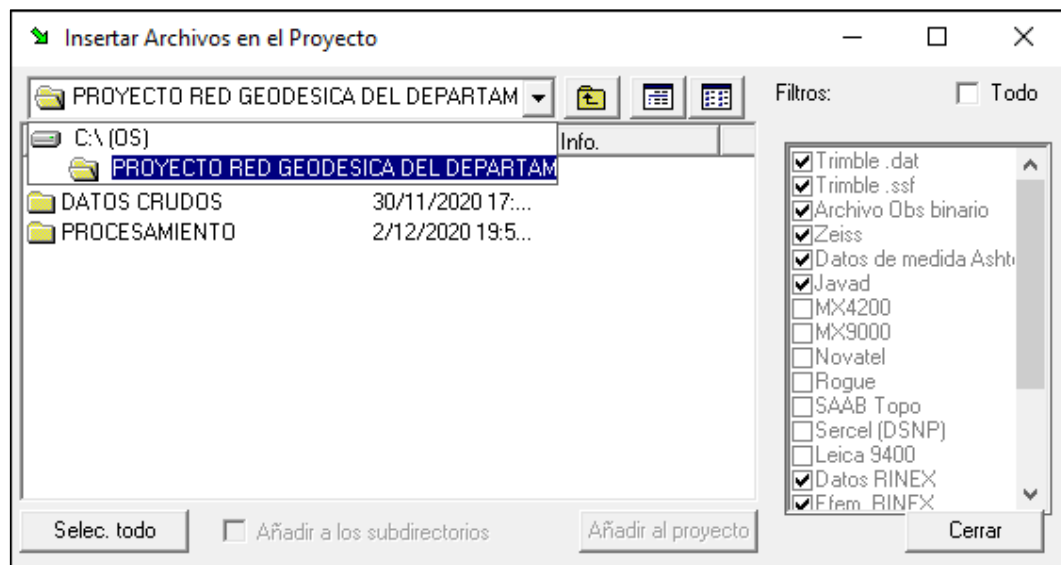


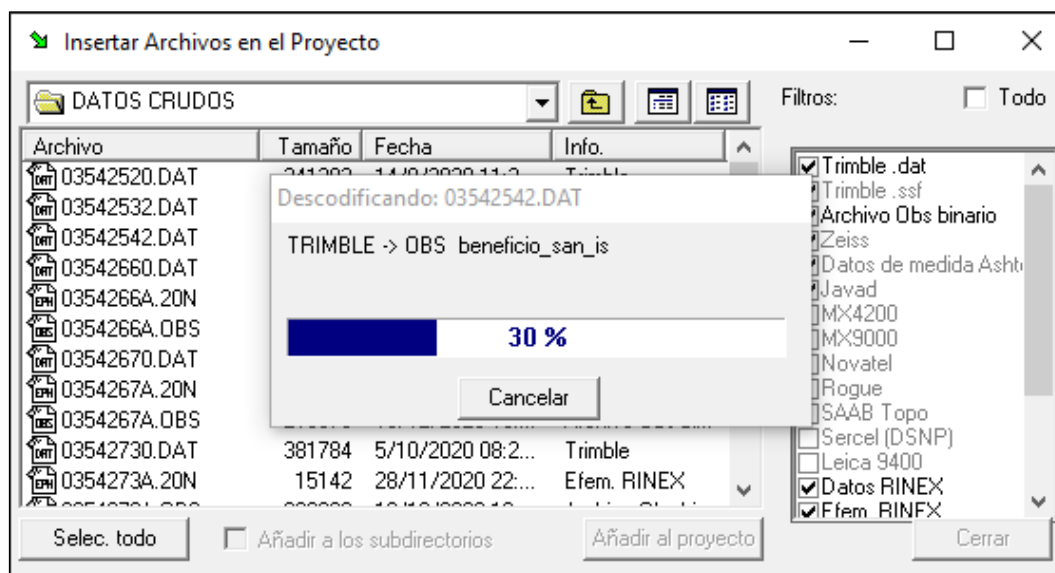
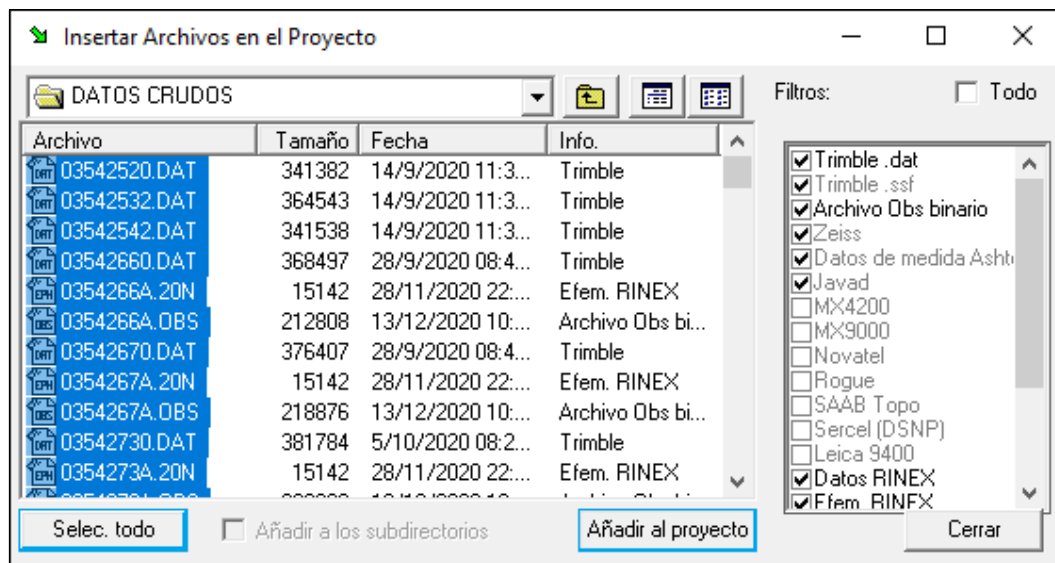
5. Una vez dentro del proyecto creado, para iniciar el procesamiento, se procede a la carga de datos de observación, seleccionando de la barra de herramientas el ícono “Datos de medida del receptor”.  Este ícono también puede

encontrarse en la barra de proyecto, al lado izquierdo de la ventana, en la pestaña “Importar”.



6. En la ventana “Insertar Archivos en el Proyecto”, se buscará la carpeta correspondiente a éste en el Disco Local C del computador, para este caso en particular se han creado las carpetas “PROYECTO RED GEODÉSICA DE SONSONATE” y “DATOS CRUDOS”. Dentro de esta última seleccionar todos los datos de la medición y dar clic en la opción “Añadir al proyecto”.





```

Descodificando: C:\RED GEODESICA DEL DEPARTAMENTO DE SONSONATE\DATOS CRUDOS\10843150.20o
- Generado: C:\RED GEODESICA DEL DEPARTAMENTO DE SONSONATE\DATOS CRUDOS\10843150.OBS
Borrar Archivo OBS: C:\RED GEODESICA DEL DEPARTAMENTO DE SONSONATE\DATOS CRUDOS\10843160.OBS
Descodificando: C:\RED GEODESICA DEL DEPARTAMENTO DE SONSONATE\DATOS CRUDOS\10843160.20o
- Generado: C:\RED GEODESICA DEL DEPARTAMENTO DE SONSONATE\DATOS CRUDOS\10843160.OBS
Borrar Archivo OBS: C:\RED GEODESICA DEL DEPARTAMENTO DE SONSONATE\DATOS CRUDOS\10843170.OBS

```

NOTA: observar que a medida que se importan los datos, la barra de comandos notifica sobre los procedimientos realizados.

- Una vez se hayan cargado los datos se abrirá la ventana “Importación de Datos de Medida del Receptor”, en la cual se podrán visualizar cada una de las

estaciones geodésicas observadas e información referente a sus parámetros como el tipo de receptor, altura de antena, fabricante, etc. Al no ser necesario realizar alguna modificación, se deberá “Aceptar” y luego “Cerrar” en la ventana “Insertar Archivos en el Proyecto”.

Importación de Datos de Medida del Receptor

	Nombre de	Nombre del Punto	Fabricante	Tipo	Medido hasta	H [m]	Nombre Original
1	San_252A.OBS	San pablo	Trimble	R8s Internal	Base del soporte de la ant...	1.365 TRMR8S	NONE
2	Bene253A.OBS	Beneficio san i	Trimble	R8s Internal	Base del soporte de la ant...	1.658 TRMR8S	NONE
3	bene254A.OBS	beneficio san is	Trimble	R8s Internal	Base del soporte de la ant...	1.670 TRMR8S	NONE
4	0354266A.OBS	SPAB	Trimble	R8s Internal	Base del soporte de la ant...	1.769 TRMR8S	NONE
5	0354267A.OBS	BENJ	Trimble	R8s Internal	Base del soporte de la ant...	1.773 TRMR8S	NONE
6	0354273A.OBS	BENJ	Trimble	R8s Internal	Base del soporte de la ant...	1.823 TRMR8S	NONE
7	0354274A.OBS	BCHI	Trimble	R8s Internal	Centro del tope protector	1.930 TRMR8S	NONE
8	0354275A.OBS	VELE	Trimble	R8s Internal	Centro del tope protector	1.759 TRMR8S	NONE
9	0354280A.OBS	BVIS	Trimble	R8s Internal	Centro del tope protector	1.897 TRMR8S	NONE
10	0354281A.OBS	VELE	Trimble	R8s Internal	Centro del tope protector	1.758 TRMR8S	NONE
11	0354282A.OBS	ENAN	Trimble	R8s Internal	Centro del tope protector	1.763 TRMR8S	NONE
12	0354287A.OBS	CSUN	Trimble	R8s Internal	Centro del tope protector	1.905 TRMR8S	NONE
13	0354287B.OBS	CSUN	Trimble	R8s Internal	Base del soporte de la ant...	1.884 TRMR8S	NONE
14	0354288A.OBS	ROSA	Trimble	R8s Internal	Centro del tope protector	1.734 TRMR8S	NONE
15	0354289A.OBS	CSUN	Trimble	R8s Internal	Centro del tope protector	1.944 TRMR8S	NONE
16	0354294A.OBS	ACRO	Trimble	R8s Internal	Centro del tope protector	2.077 TRMR8S	NONE
17	0354295A.OBS	RLCR	Trimble	R8s Internal	Centro del tope protector	1.778 TRMR8S	NONE
18	0354296A.OBS	NQA1	Trimble	R8s Internal	Centro del tope protector	0.595 TRMR8S	NONE
19	0354301A.OBS	HMIR	Trimble	R8s Internal	Centro del tope protector	1.790 TRMR8S	NONE
20	0354302A.OBS	LITO	Trimble	R8s Internal	Centro del tope protector	1.806 TRMR8S	NONE
21	0354303A.OBS	HMIR	Trimble	R8s Internal	Centro del tope protector	1.795 TRMR8S	NONE

Modelo de Antena: Default Trimble Calibration

Aceptar Cancelar Ayuda

Insertar Archivos en el Proyecto

DATOS CRUDOS

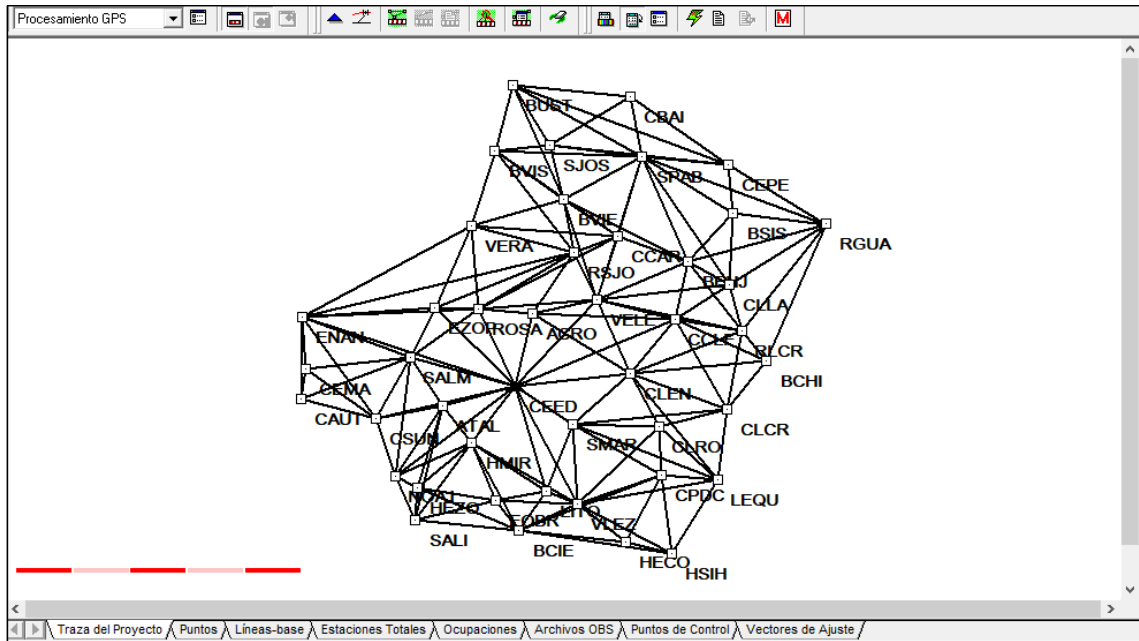
Archivo	Tamaño	Fecha	Info.
03542520.DAT	341382	14/9/2020 11:3...	Trimble
03542532.DAT	364543	14/9/2020 11:3...	Trimble
03542542.DAT	341538	14/9/2020 11:3...	Trimble
03542660.DAT	368497	28/9/2020 08:4...	Trimble
0354266A.20N	15142	28/11/2020 22:...	Efem. RINEX
0354266A.OBS	212808	30/11/2020 22:...	Archivo Obs bi...
03542670.DAT	376407	28/9/2020 08:4...	Trimble
0354267A.20N	15142	28/11/2020 22:...	Efem. RINEX
0354267A.OBS	218876	30/11/2020 22:...	Archivo Obs bi...
03542730.DAT	381784	5/10/2020 08:2...	Trimble
0354273A.20N	15142	28/11/2020 22:...	Efem. RINEX

Filtros: Todo

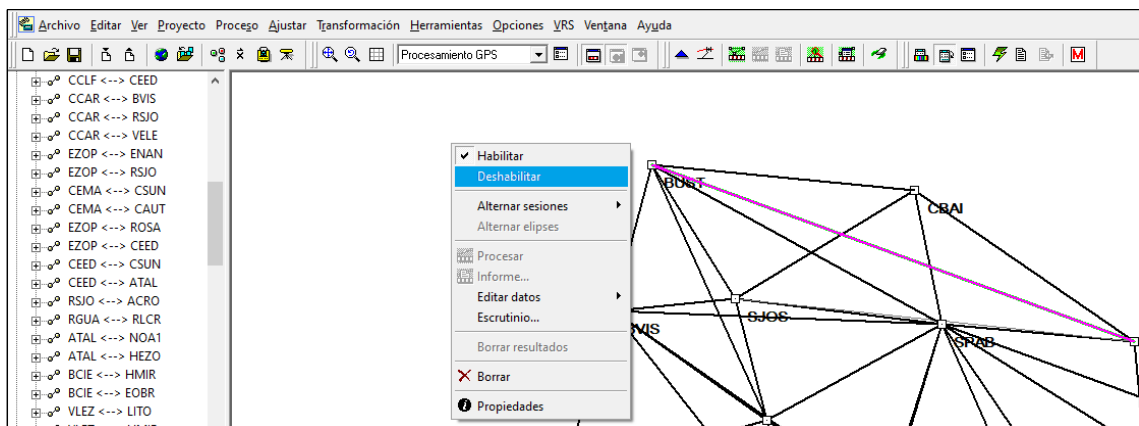
- Trimble .dat
- Trimble .ssf
- Archivo Obs binario
- Zeiss
- Datos de medida Ashb...
- Javad
- MX4200
- MX9000
- Novatel
- Rogue
- SAAB Topo
- Sercel (DSNP)
- Leica 9400
- Datos RINEX
- Fem RINEX

Selec. todo Añadir a los subdirectorios

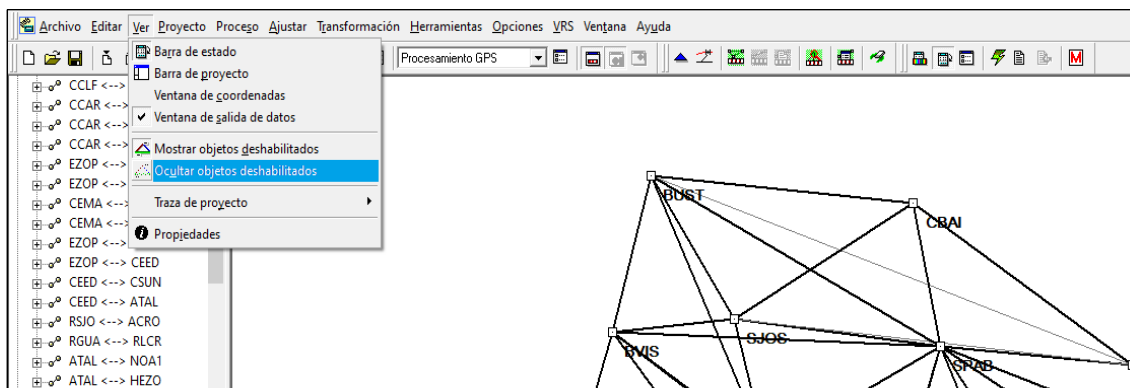
- Posteriormente, se visualiza en el área de trabajo, todos los puntos cargados entrelazados por líneas. Cada línea representa el tiempo en común entre puntos que conforman la red.



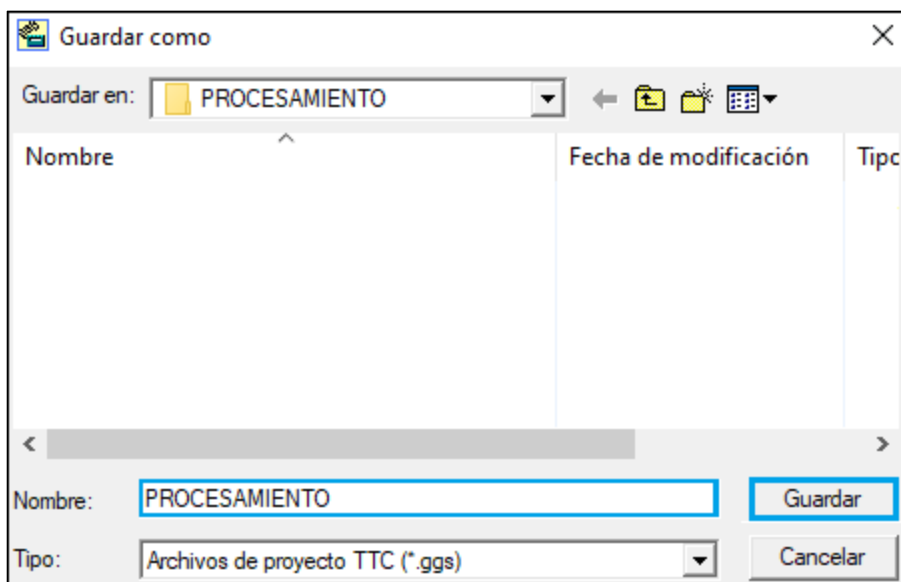
9. Al observar la imagen anterior, se notará que existen líneas bases redundantes en la formación de la red, las cuales deberán ser deshabilitadas. El proceso para ocultar este tipo de líneas consiste en seleccionar la línea de interés, dar click derecho y elegir la opción “Deshabilitar”.




10. Posteriormente, acceder a la pestaña “Ver” de la barra de menú y elegir la opción “Ocultar objetos deshabilitados”



11. Una vez definida la red, es importante guardar el archivo generado. En la barra de menú, elegir la pestaña “Archivo”, y la opción “Guardar como”. Luego buscar la carpeta del proyecto, para este caso se ha creado la carpeta “PROYECTO RED GEODÉSICA DE SONSONATE”, y la subcarpeta “PROCESAMIENTO”, se nombrará al archivo con el mismo nombre “Procesamiento”, luego dar click en el botón “Aceptar”. Es importante que regularmente se guarden los avances y modificaciones en el documento para no perder el trabajo realizado.



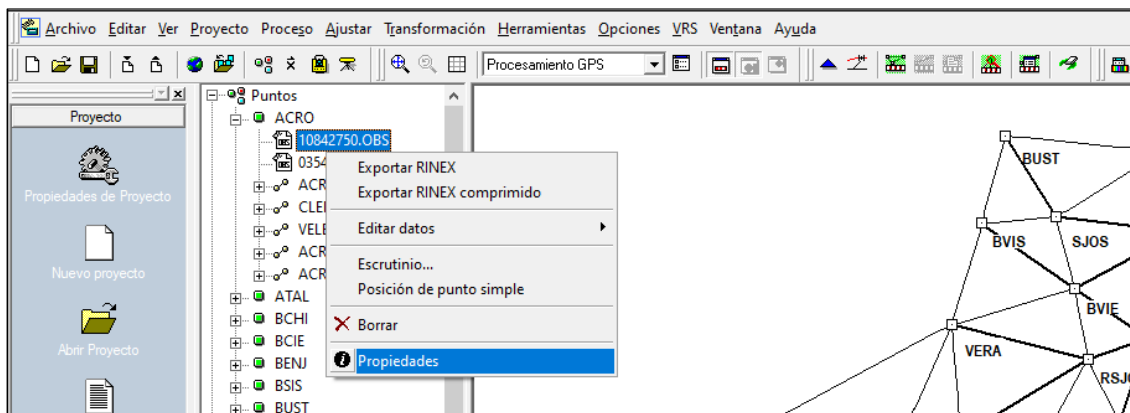
12. Después de guardar el archivo, buscar en la barra de herramientas el ícono “Opciones de Procesamiento” . En esta ventana, elegir la pestaña “Tiempos”,

en la cual serán configurados los parámetros siguientes: en el marco “Procesamiento” elegir la opción “Proyecto completo” y en “Zona horaria” digitar el valor -6.0, luego click en “Aceptar”.

NOTA: El software Trimble Total Control proporciona por defecto, la hora UTC (Tiempo Universal Coordinado), sin embargo debido a su posición geográfica, El Salvador está seis horas atrás de la hora del Meridiano de Greenwich. De modo que es necesario introducir el valor específico -6.0 para obtener la hora correcta de las mediciones, es decir, la hora local.

13. Siguiendo con el procesamiento, se debe revisar nombres, altura de antenas y demás parámetros de archivos de observación. Esto es importante ya que se evita cualquier problema en el ajuste final.
- Para revisar estos datos, en el lado izquierdo de la pantalla principal, al desplegar la opción “Puntos”, aparecerán todos los vértices que conforman la red, al dar click en el signo (+), se muestran todos los archivos de observación

correspondientes a cada vértice. Para verificar los parámetros de cada observación se debe dar click derecho sobre el archivo de interés y elegir la opción “Propiedades”.



- En la ventana “Propiedad: Archivos de Observación”, se debe revisar y de ser necesario corregir algunos datos de la observación. Para el presente trabajo, esta información ha sido confrontada con la que se muestra en los formularios llenados en campo por cada una de las brigadas (ver anexo D). Estos datos se muestran a continuación.
- **Tiempo:** duración de la medición, fecha en que fue llevada a cabo e intervalo de grabación. Este último fue definido al inicio de las mediciones y corresponde a un valor de 15 segundos.

Propiedad: Arch. de Observación				
Archivo	Proc.		Nombre del punto	
Tiempo	Antena	Imagen	Receptor	Tipo
Inic. (prim. época):	07:57:45 1/10/2020			
Fin (última época):	10:01:45 1/10/2020			
Semana GPS:	2125	GPS + -6.0 horas		
Inicio GPS:	374265.00	[seg.]	Épocas:	497
Fin GPS:	381705.00	[seg.]	Intervalo:	15.00 [seg.]
Int. de T.:	7440.00	[seg.]		

- **Antena:** los datos contenidos en esta pestaña son asignados por defecto, sin embargo pueden ser editados de tal manera que coincidan con los configurados el día de la medición. Los campos editados de acuerdo al proyecto en curso son los siguientes:
 - a) **Fabricante:** el fabricante de la antena utilizada ha sido Trimble
 - b) **Antena:** los modelos utilizados son R8s Internal y R4-3 Internal
 - c) **Medido hasta:** en este campo se asigna el tipo de altura de antena utilizada en las mediciones que para este caso es “Centro del tope protector”.
 - d) **Altitud:** en esta se introduce el valor de altura de antena, para el ejemplo se tiene 1.843 metros.

Propiedad: Arch. de Observación

Archivo	Proc.	Nombre del punto
Tiempo	Antena	Receptor
	Imagen	Tipo
Fabricante:	Trimble	
Antena:	R8s Internal	
Medido hasta:	Centro del tope protector	
Altitud:	1.843 [m]	
<input type="button" value="Asignar"/>		a este archivo

- **Imagen:** permite verificar el tipo de receptor utilizado a través de imágenes guardadas en los archivos del programa.

Propiedad: Arch. de Observación

Archivo	Proc.	Nombre del punto
Tiempo	Antena	Receptor
	Imagen	Tipo
		Trimble
		R8s Internal

- **Receptor:** muestra el nombre del fabricante y el tipo de receptor, este último puede ser R8s o R4-3

Propiedad: Arch. de Observación

Archivo	Proc.	Nombre del punto
Tiempo	Antena	Imagen
		Receptor
		Tipo

Fabricante: Trimble

Receptor: R8s

Asignar a este archivo

- **Tipo:** en esta pestaña se permite especificar el tipo de levantamiento realizado, en el campo “Indicadores”, elegir el tipo “Estático”.

Propiedad: Arch. de Observación

Archivo	Proc.	Nombre del punto
Tiempo	Antena	Imagen
		Receptor
		Tipo

Indicadores

Estático

Estát. corto

Cinemático

Stop&Go

Observaciones

Código	Portadora	Doppler
(2)	(2)	(1)
C/A	C/A	C/A
P1-P2	P1-P2	

Asignar Asignar tamb. al pto: ACRO

- **Nombre del Punto:** permite asignar y modificar el nombre del punto trabajado. Para este caso en particular resulta conveniente que los nombres asignados consten de cuatro letras, las cuales podrán ser las primeras letras correspondientes a un nombre o las iniciales de este. Por ejemplo: al punto **Acrópolis** se le ha asignado el nombre **ACRO**.

Propiedad: Arch. de Observación

Tiempo	Antena	Imagen	Receptor	Tipo
Archivo	Proc.	Nombre del punto		

Nombre del punto en el archivo OBS

ACRO

Nombre de punto incluido en el archivo OBS.

Asignar

- **Archivo:** muestra la ruta de ubicación del archivo de observación con extensión .OBS.

Propiedad: Arch. de Observación

Tiempo	Antena	Imagen	Receptor	Tipo
Archivo	Proc.	Nombre del punto		

Arch.: C:\PRO ... TE\DATOS CRUDOS\0354294A.OBS

Info.

Creado en:	12/20/20 22:35:06
Última modificación:	01/19/21 21:11:10
Tamaño:	225644 Bytes
Atributos:	F--ARW-

NOTA: cada vez que se introduzca una modificación en los datos se deberá dar click en “Asignar”, para que dicho cambio tenga efecto, de lo contrario quedará omitido.

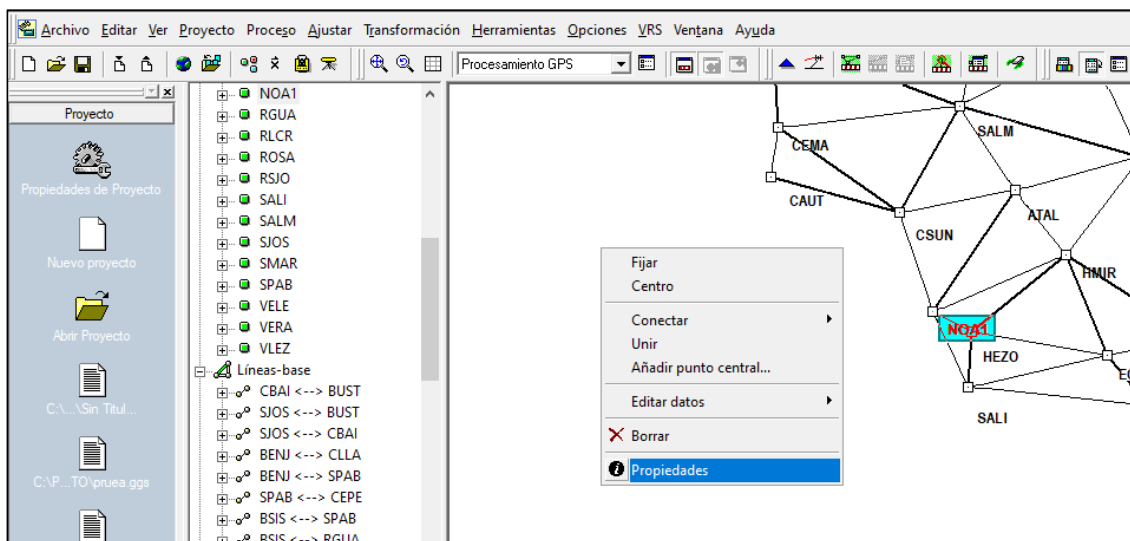
14. Una vez verificada la información de los archivos de observación, se procede con la asignación de coordenadas a los puntos de control.

Estas coordenadas de referencia corresponden a los datos obtenidos en páginas anteriores (capítulo 5, sección 4) y cuyos valores son los siguientes:

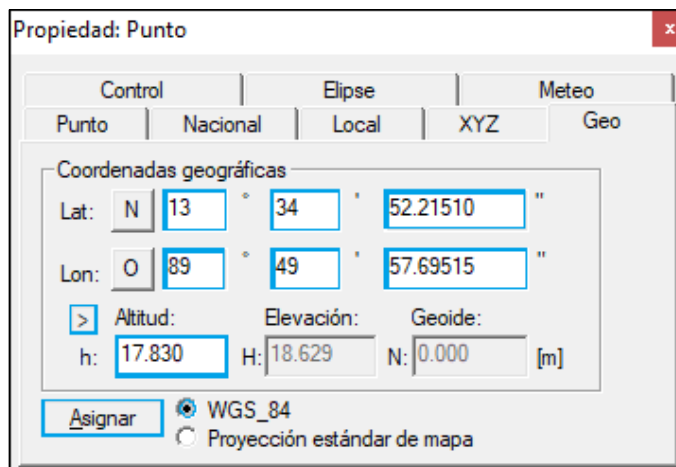
Estación	Código	Latitud	Longitud	Elevación
Hacienda Sihupilapa	HSIH	N 13°31'12.12007"	O 89°36'32.97174"	12.849 m
NOA I	NOA I	N 13°34'52.21510"	O 89°49'57.69515"	17.830 m

Tabla 5.5 Coordenadas geográficas, época 2020.7883

- Para la introducir estas coordenadas, se debe dar click derecho sobre el punto de interés y seleccionar la opción “Propiedades”



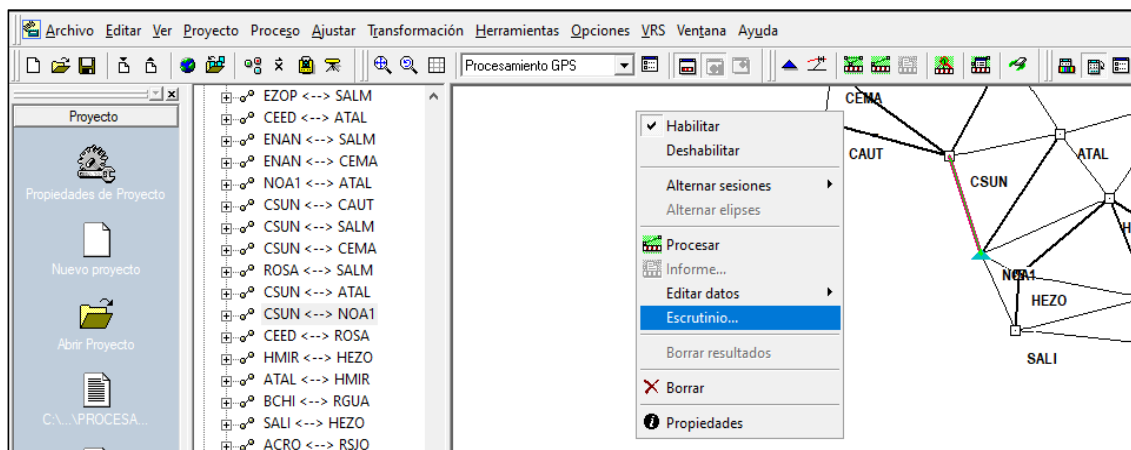
- En la ventana “Propiedad”, se debe elegir la opción “GEO”, en la cual se introducirán las coordenadas correspondientes: longitud, latitud y elevación elipsoidal. Además se deberá elegir el sistema WGS-84 y luego dar click en “Asignar”.



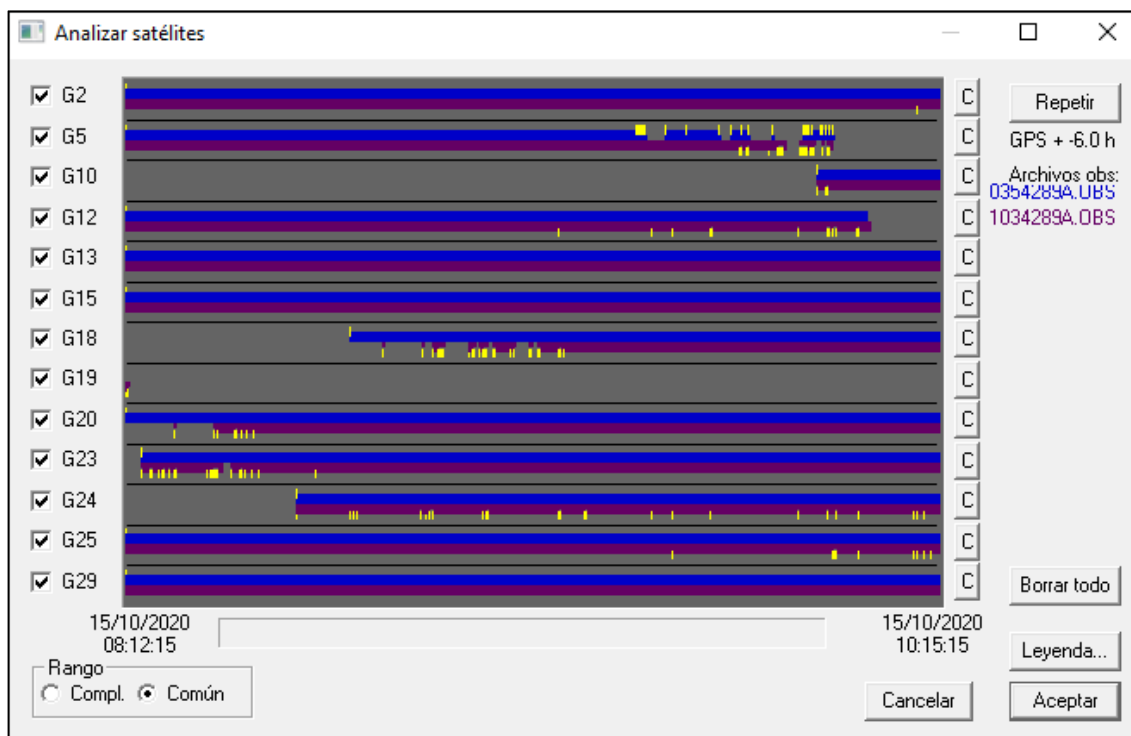
NOTA: como dato importante todas las coordenadas de los puntos fijos vienen dadas con altitud (elevación elipsoidal = altitud), por lo que es necesario activar la opción “Altitud”, dando click en la pestaña de la izquierda también marcada en la imagen.

15. El siguiente paso está referido al control de calidad, el cual inicia con el procesamiento de líneas base, para ello se debe depurar la información errónea que transmitieron los satélites para lograr las tolerancias transmitidas. Este procedimiento se lleva a cabo partiendo del punto de control previamente establecido, NOA1.

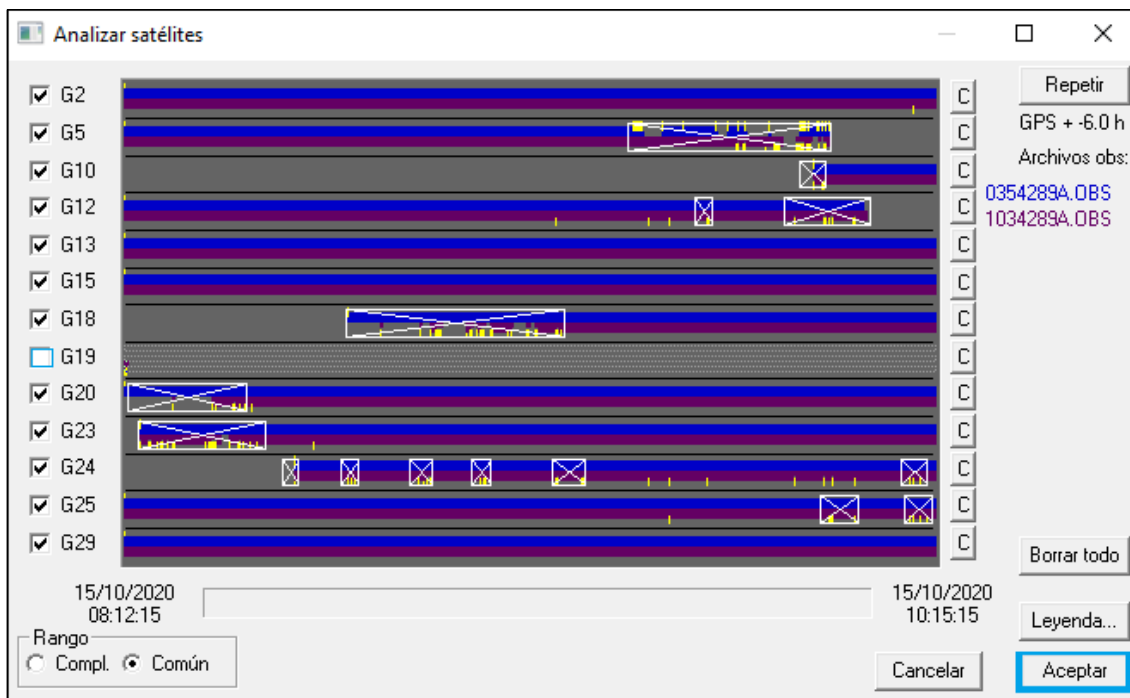
- Primero, seleccionar la línea base a trabajar, dar click derecho y elegir la opción “Escrutinio”



- En la ventana “Analizar Satélites”, se visualiza al lado izquierdo, los números de los satélites captados por los receptores durante la medición y la señal transmitida por cada uno de ellos.



- Para depurar la información errónea simplemente se selecciona, arrastrando el puntero y sombreando las partes de señal defectuosa (cortes de señal, falta de señal entre ambos equipos, etc.) y automáticamente el software no toma en cuenta dicha información para el geoposicionamiento. También cuando la señal de un satélite tenga demasiados errores puede desactivarse, marcando la casilla que precede a su número de identificación. Cuando se hayan realizado las modificaciones necesarias se debe seleccionar el botón “Aceptar”.



NOTA: Cuando se tenga más de una sesión en una línea base, para realizar el proceso de escrutinio se deberá acceder a la Barra de Estado al lado izquierdo del programa, desplegar opción “Línea base”, buscar la línea base en cuestión, desplegar con el signo (+), seleccionar la sesión a deshabilitar dando click derecho sobre esta y elegir la opción “Deshabilitar sesión”. Luego se deberá realizar el proceso anteriormente descrito.

- A continuación, siempre con la línea base seleccionada se busca en la barra de herramientas el ícono “Opciones de procesamiento”, en esta ventana se podrá verificar, configurar y modificar los parámetros más importantes referentes a las líneas base.

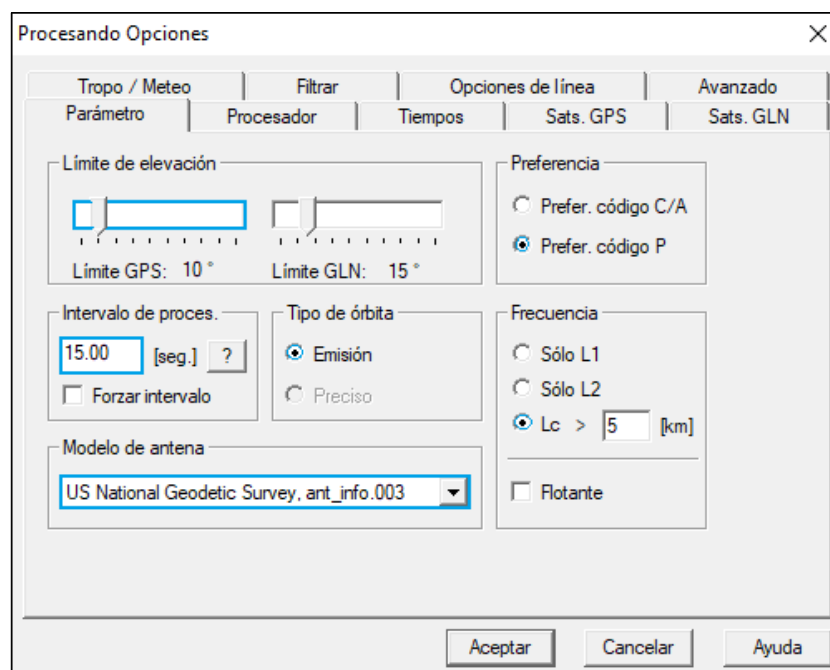
En la pestaña “Parámetros” se verificaran los siguientes campos:

- **Límite de Elevación:** también es llamado máscara de elevación, para este caso se ha establecido un valor de 10°. El valor de la máscara puede cambiar y mientras más bajo sea, puede haber más rebote de la señal en superficies reflejantes, por lo que puede modificarse en caso de ser necesario.

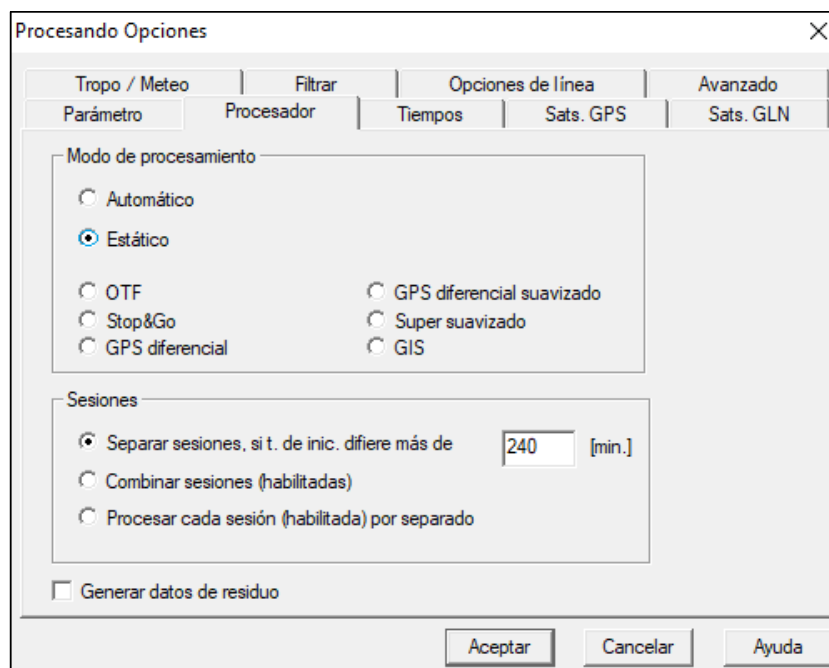
- **Intervalo de Procesamiento:** el valor establecido es de 15 segundos
- **Modelo de Antena:** el modelo a utilizar será el proporcionado por US National Geodetic Survey. Ant_info.003.
- **Tipo de órbita:** esta será “Emisión”, es decir efemérides transmitidas.

NOTA: Para este proceso no será necesario el uso de efemérides precisas debido a que según especificaciones técnicas, estas son utilizadas en redes geodésicas cuyas líneas bases superan los 30 kilómetros.

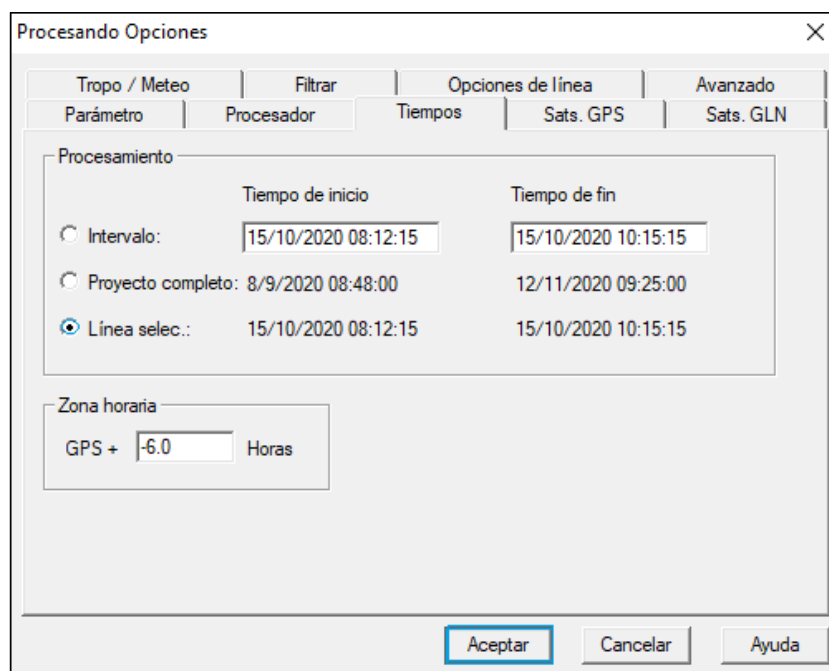
- **Frecuencia:** esta se refiere al tipo de frecuencia del equipo utilizado para la medición, en este caso por tratarse de equipo de doble frecuencia se marca Lc.



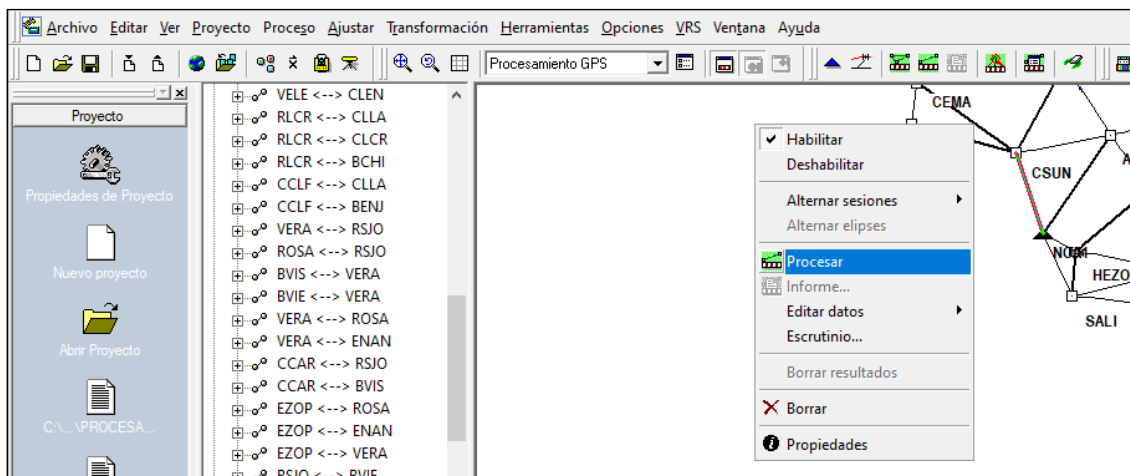
- En la pestaña “Procesador”, en Modo de procesamiento, habilitar la opción “Estático”



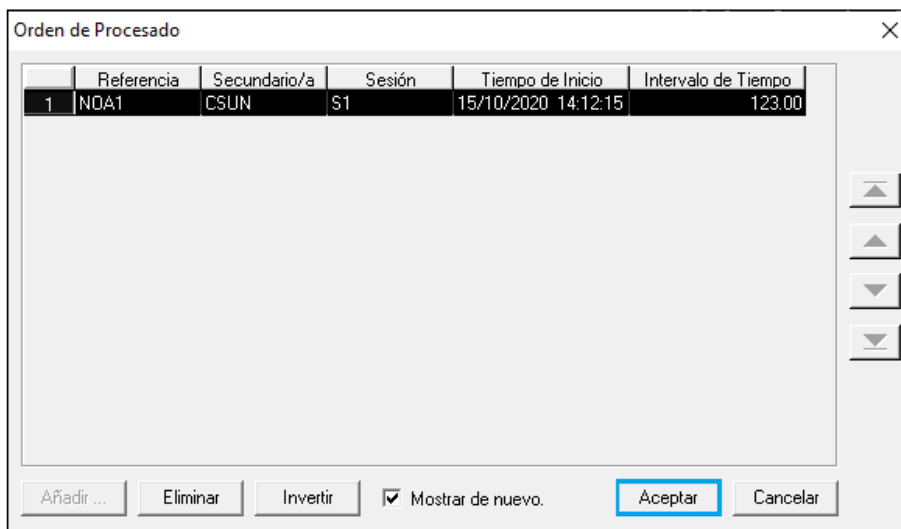
- En la pestaña “Tiempos”, en la opción procesamiento elegir “Línea seleccionada”, ya que se desea realizar cambios únicamente en la línea base en la cual se trabaja, luego “Aceptar”. Nótese que ya no es necesario configurar el parámetro de zona horaria ya que fue establecido con anterioridad.



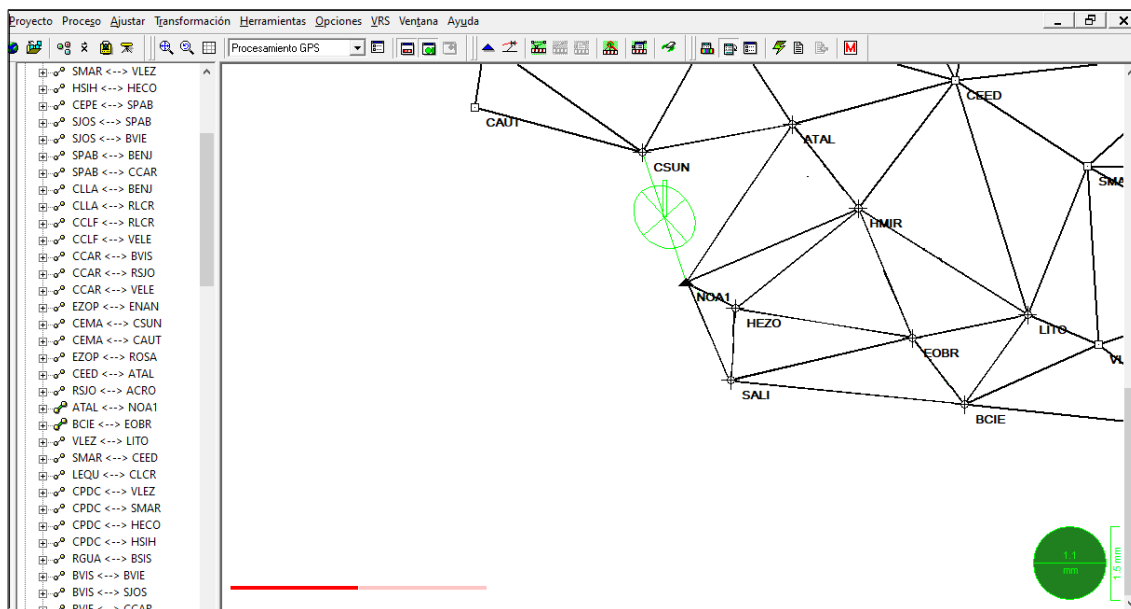
16. Para finalizar el procesamiento se debe seleccionar nuevamente la línea base en la que se está trabajando, dar click derecho y elegir la opción “Procesar”.



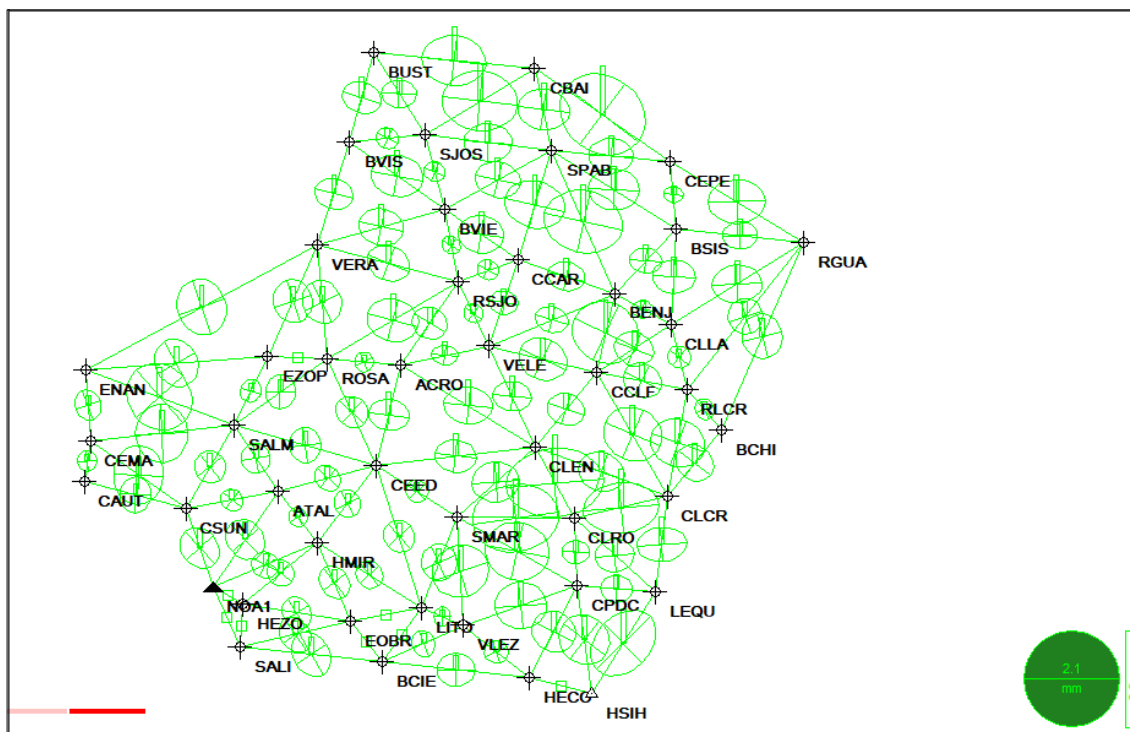
17. En la ventana “Orden de Procesado”, dar click en “Aceptar”.



18. Una vez procesado, cambiará el color de la línea base seleccionada y en la parte inferior derecha aparecerán los errores tridimensionales del proceso, en la imagen este error se interpreta de la siguiente manera: un error horizontal de 1.1 mm y un error vertical de 1.5 mm. Este proceso se llevará a cabo en todas las líneas base que componen la red.



NOTA: Es de tener en cuenta que existen 3 tipos de colores que pueden definir un resultado, **Línea verde:** significa que el post-proceso está bien y se puede proceder al ajuste, **Línea amarilla:** significa que hay soluciones flotantes que deben mejorarse y tratar de llevarse a soluciones fijas, cambiando durante el escrutinio, parámetros de configuración para tratar de fijar una solución y **Línea roja:** significa que no hay ningún resultado y se deberá revisar el procesamiento. Cualquiera que sea el caso, el operador podrá guiarse en base a la información de procesamiento mostrada en la ventana salida de datos.



Metodología utilizada para el ajuste de la red geodésica

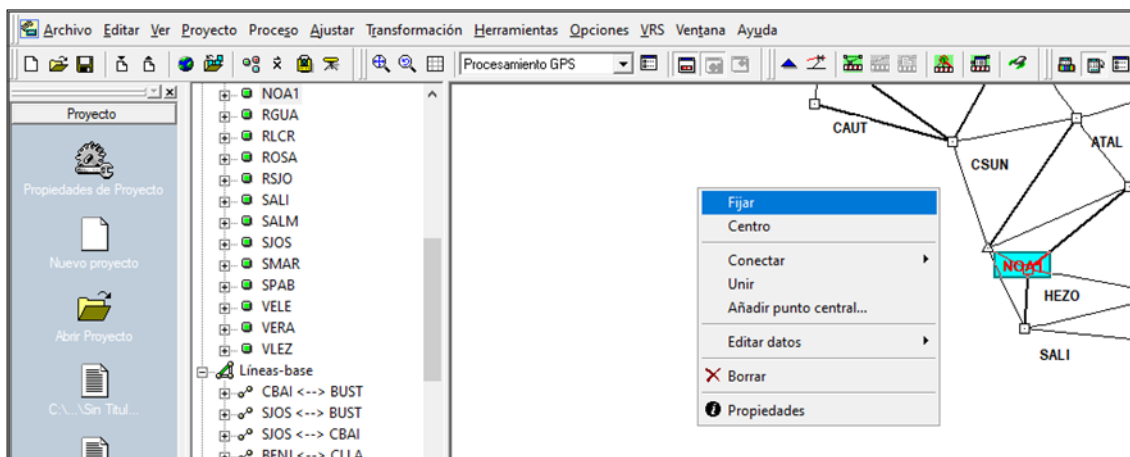
Finalizado el procesamiento de datos, se debe proceder al ajuste, cuyo objetivo es distribuir los errores en toda la red geodésica. El procedimiento a llevar a cabo es el siguiente:

1. Verificar que las coordenadas geográficas asignadas a cada punto de control sean las correctas, anteriormente se ha mencionado que para esta red se utilizaran dos puntos de control, correspondientes a los vértices NOA 1 (ID: NOA1) y Hacienda Sihuapilapa (ID: HSIH) que forman parte de la red SIRGAS-ES2007.

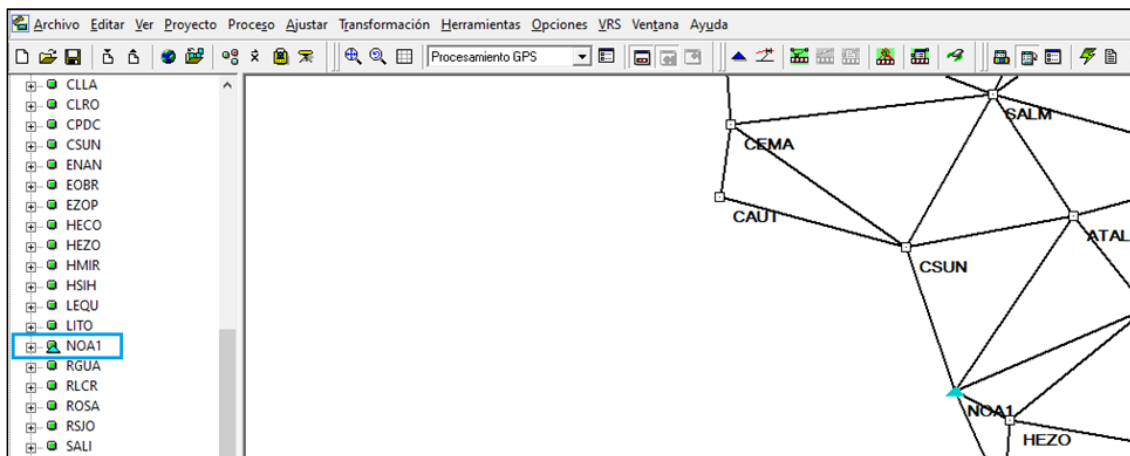
Estación	Código	Latitud	Longitud	Elevación
NOA 1	NOA1	13°34'52.21510" N	89°49'57.69515" W	17.830 m
Hacienda Sihuapilapa	HSIH	13°31'12.12007" N	89°36'32.97174" W	12.849 m

Tabla 5.6 Coordenadas geográficas de estaciones de referencia, época 2020.7883

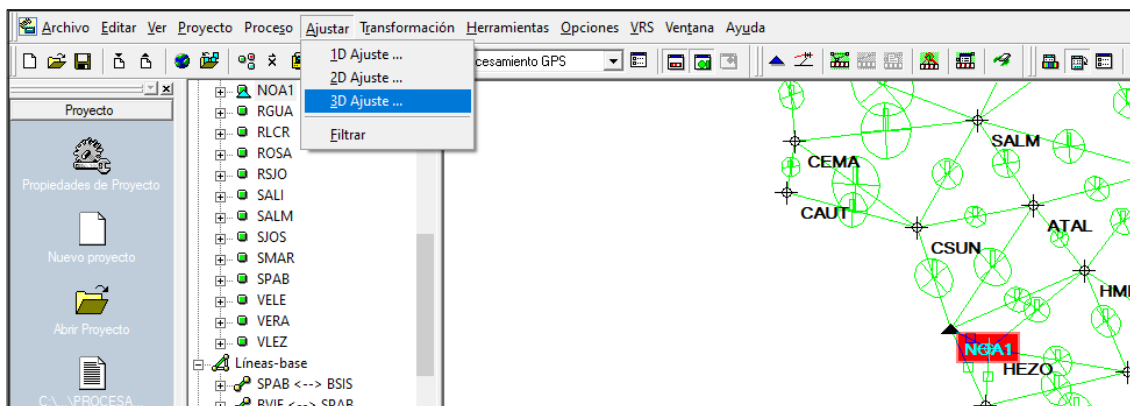
2. Para iniciar el ajuste, es necesario fijar el vértice a utilizar, seleccionando y dando click derecho sobre este, y en la ventana que aparece elegir la opción “Fijar”



- Nótese que una vez realizada esta acción, el punto elegido como referencia aparecerá tanto en la barra de estado como en el área de dibujo con un triángulo celeste.



3. Con el punto de control (NOA1) seleccionado, desplegar de la barra el menú “Ajustar” y seleccionar la opción “3D Ajuste”



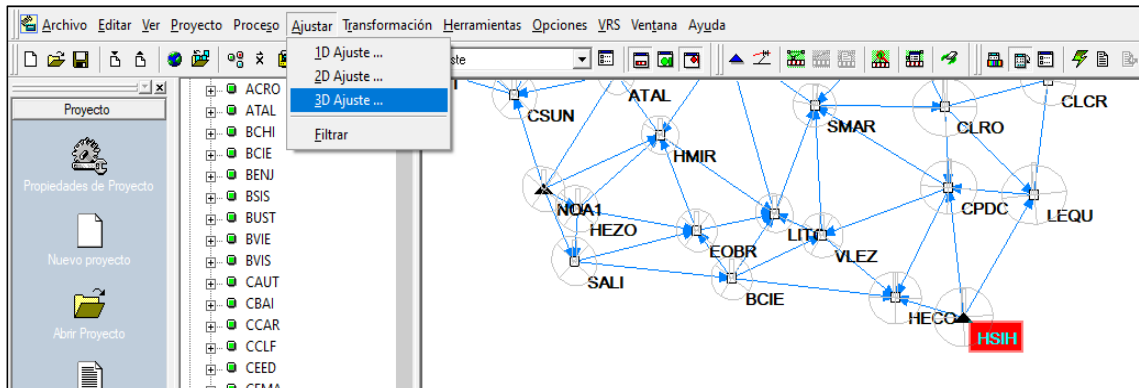
4. En la ventana “3D Ajuste” seleccionar el tipo “Libre”, “Ajustar” y luego “Cerrar”.



NOTA: es importante mencionar que el ajuste puede ser llevado a cabo de dos formas, el primero de ellos es el **Ajuste Libre**, este tipo de ajuste permite distribuir el error final en toda la red, es decir que la red sufre desplazamientos como un conjunto de puntos libres. También existe el **Ajuste con Tendencia**, el cual distribuye el error final en toda la red de igual forma que el ajuste libre; pero el vértice de referencia o punto de control se mantiene fijo, por lo que a través de este se limita el desplazamiento de la red.

5. A continuación se hará un ajuste con tendencia, primero se debe fijar el vértice (HSIH), siguiendo los pasos utilizados sobre el vértice NOA 1. Una vez fijado el

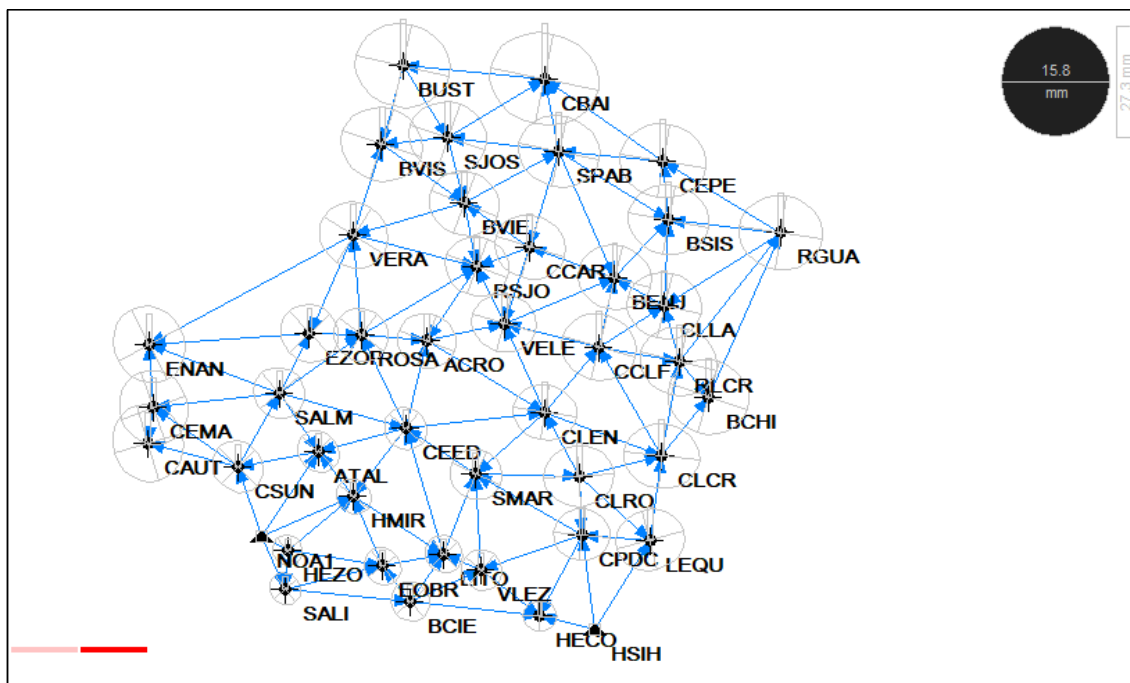
vértice, seleccionar y desplegar de la barra el menú “Ajustar” y elegir la opción “3D Ajuste”



6. En la ventana “3D Ajuste” elegir la opción “Con tendencia”, “Ajustar” y luego “Asignar”



7. Habiendo ajustado la red geodésica, se podrá observar un cambio de color y su respectiva precisión, tanto horizontal como vertical. Además en la ventana de salida de datos (parte inferior del programa), se puede verificar si el ajuste ha sido exitoso.



Error Estándar en Ponderación de Unidad 1.576

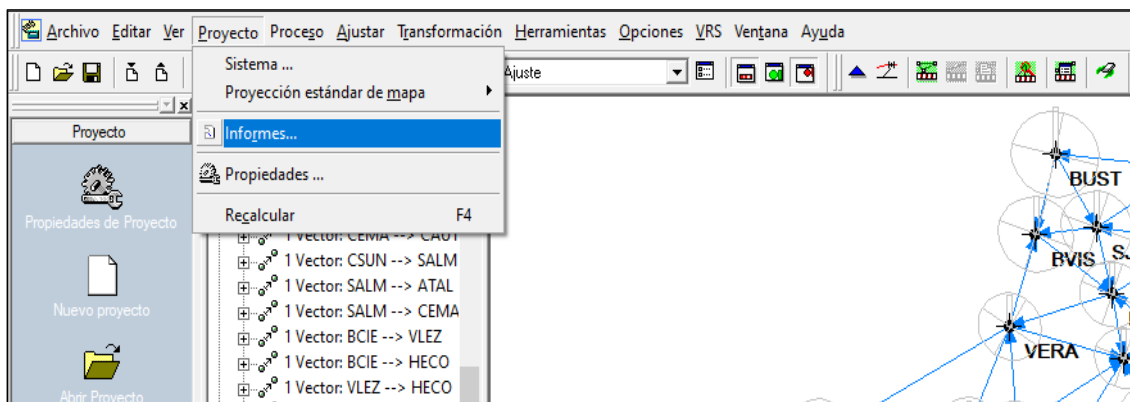
---Test de Tau---

Todas las medidas son válidas

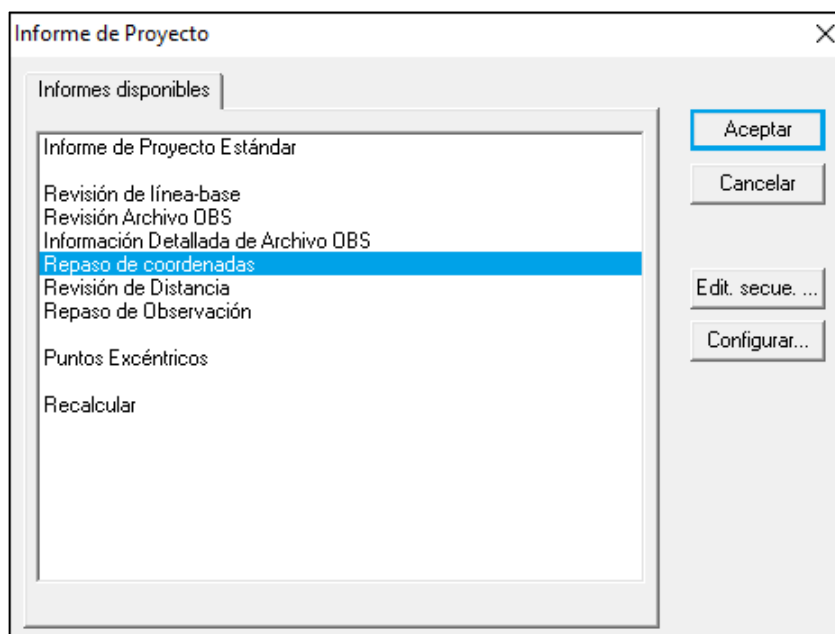
---Ajuste terminado---

NOTA: Si alguna línea base no llegara a cumplir con los parámetros establecidos, aparecerá resaltada y con un mensaje en rojo en la parte superior del programa.

8. Una vez terminado el ajuste, se debe guardar el archivo generado, elegir "Archivo", "Guardar como". Buscar la carpeta del proyecto, "PROYECTO RED GEODÉSICA DE SONSONATE", "AJUSTE", se nombrará al archivo con el mismo nombre "Ajuste", luego dar click en "Aceptar".
9. Para revisar las coordenadas, Trimble Total Control permite generar varios tipos de informes, para su visualización se debe elegir en la barra de menú "Proyecto" y escoger la opción "Informes"



10. Aparecerá la ventana “Informes disponibles”, en esta elegir la opción “Repaso de coordenadas”. Este informe proporciona el listado de coordenadas generadas por TTC: Coordenadas Geográficas, Coordenadas Cartesianas y Coordenadas de la proyección (ver anexo G).



RESULTADOS

Coordenadas cartesianas geocéntricas, época actual 2020.7883

WGS84 - Coordenadas Cartesianas Geocéntricas				
Nombre de Punto	Código	X	Y	Z
Acrópolis	ACRO	30113.0171 m	-6197728.3448 m	1501812.7228 m
Atalayita	ATAL	22252.2916 m	-6199556.4237 m	1493924.2619 m
Beneficio Chilata	BCHI	50585.8575 m	-6199008.3039 m	1497890.9360 m
Barra Ciega	BCIE	28943.2113 m	-6201986.4384 m	1483397.2016 m
Benjamín I	BENJ	43774.0199 m	-6196907.7341 m	1506329.7731 m
Beneficio San Isidro	BSIS	47685.2032 m	-6196072.2977 m	1510389.1887 m
Bustamante	BUST	28330.6010 m	-6194157.5361 m	1521378.1181 m
Barra Vieja	BVIE	32864.0130 m	-6195782.1559 m	1511552.1598 m
Buena Vista	BVIS	26803.5696 m	-6195157.1217 m	1515764.6755 m
Cauta	CAUT	9910.4467 m	-6199346.3674 m	1494528.9345 m
Cantón Buenos Aires	CBAI	38651.1661 m	-6194569.1400 m	1520497.1388 m
Cantón Chorro Arriba	CCAR	37601.7936 m	-6196492.4417 m	1508450.2282 m
Caserío Cerro Las Flores	CCLF	42629.9070 m	-6198191.2814 m	1501446.1014 m
Caserío El Edén	CEED	28567.5081 m	-6199175.3050 m	1495573.8281 m
Cantón El Maizal	CEMA	10280.6169 m	-6198770.4198 m	1497000.8827 m
Cerro Perico	CEPE	47287.5014 m	-6195371.3232 m	1514626.3215 m
Cantón La Cruzona I	CLCR	47168.2278 m	-6200039.7570 m	1493755.7884 m
Cantón La Ensenada	CLEN	38689.8029 m	-6199115.5668 m	1496762.4121 m
Cooperativa Los Lagartos	CLLA	47350.4910 m	-6197330.0918 m	1504345.6785 m
Caserío Los Rosales	CLRO	41179.4337 m	-6200099.7107 m	1492296.0990 m
Cantón Paso de Canoa	CPDC	41410.4041 m	-6200925.9995 m	1488116.8651 m
Cantón Suncita	CSUN	16406.4142 m	-6199754.8785 m	1492840.2100 m
El Nance	ENAN	9954.7311 m	-6197740.7445 m	1501502.3317 m
El Obraje	EOBR	26919.5176 m	-6201414.4708 m	1485857.0340 m
El Zope II	EZOP	21600.1843 m	-6197662.0524 m	1502311.9128 m
Hacienda El Cojoyo	HECO	38355.3123 m	-6202167.5501 m	1482394.3533 m
Hacienda El Zope	HEZO	20034.0386 m	-6201178.8084 m	1486987.3259 m
Hacienda Miravalle	HMIR	24813.4378 m	-6200305.0593 m	1490782.5185 m
Hacienda Sihupilapa	HSIH	42310.0496 m	-6202390.5744 m	1481406.8572 m
Loma El Quebrachal	LEQU	46365.8004 m	-6201291.3553 m	1487797.3566 m
Litoral	LITO	31384.7403 m	-6201179.0002 m	1486738.1964 m
Noa1	NOA1	18107.1118 m	-6200928.4607 m	1487983.7180 m
Rancho Guaymoco	RGUA	55780.6945 m	-6196002.6223 m	1509449.2062 m

Rancho La Cruz	RLCR	48416.4371 m	-6198345.9812 m	1500370.3857 m
Rosa II	ROSA	25362.6101 m	-6197712.7296 m	1502197.2149 m
Rancho San Jorge	RSJO	33764.5132 m	-6196687.6601 m	1507067.5813 m
Salinitas	SALI	19853.0951 m	-6201814.9883 m	1484263.4036 m
Sálamo II	SALM	19421.1371 m	-6198587.7776 m	1498037.4137 m
San José	SJOS	31606.1256 m	-6195076.7225 m	1516248.9564 m
Santa María	SMAR	33707.8486 m	-6199964.6911 m	1492365.0255 m
San Pablo	SPAB	39732.1952 m	-6195973.8657 m	1515458.3999 m
Velesa	VELE	35744.7144 m	-6197587.9828 m	1503038.8169 m
Veracruz	VERA	24795.4591 m	-6196381.4663 m	1509335.8045 m
Vélez	VLEZ	34140.7034 m	-6201417.0408 m	1485616.9589 m

Tabla 5.7 Coordenadas cartesianas geocéntricas, época actual 2020.7883

Coordenadas Geográficas. Época 2020.7883

WGS84 - Coordenadas Geográficas				
Nombre de Punto	Código	Latitud	Longitud	Altitud
Acrópolis	ACRO	N13° 42' 33.69578"	O89° 43' 17.82527"	215.8364 m
Atalayita	ATAL	N13° 38' 10.48821"	O89° 47' 39.64947"	95.1817 m
Beneficio Chilata	BCHI	N13° 40' 18.83635"	O89° 31' 56.85167"	660.6779 m
Barra Ciega	BCIE	N13° 32' 18.74824"	O89° 43' 57.41768"	10.9103 m
Benjamín I	BENJ	N13° 45' 02.17496"	O89° 35' 43.00081"	569.9031 m
Beneficio San Isidro	BSIS	N13° 47' 16.69986"	O89° 33' 32.60971"	752.7248 m
Bustamante	BUST	N13° 53' 19.64976"	O89° 44' 16.60049"	1406.659 m
Barra Vieja	BVIE	N13° 47' 56.44400"	O89° 41' 45.92898"	654.6757 m
Buena Vista	BVIS	N13° 50' 14.61253"	O89° 45' 07.59348"	1025.5250 m
Cauta	CAUT	N13° 38' 31.46611"	O89° 54' 30.25965"	2.5236 m
Cantón Buenos Aires	CBAI	N13° 52' 48.17972"	O89° 38' 33.02238"	1648.9963 m
Cantón Chorro Arriba	CCAR	N13° 46' 12.71292"	O89° 39' 08.35134"	631.5518 m
Caserío Cerro Las Flores	CCLF	N13° 42' 17.97142"	O89° 36' 21.37472"	650.0655 m
Caserío El Edén	CEED	N13° 39' 05.37452"	O89° 44' 09.48166"	139.0852 m
Cantón El Maizal	CEMA	N13° 39' 54.04697"	O89° 54' 17.91159"	26.9426 m
Cerro Perico	CEPE	N13° 49' 36.03349"	O89° 33' 45.67017"	1080.2897 m
Cantón La Cruzona I	CLCR	N13° 38' 00.38398"	O89° 33' 50.82334"	660.7315 m
Cantón La Ensenada	CLEN	N13° 39' 42.99195"	O89° 38' 32.68071"	415.0238 m
Cooperativa Los Lagartos	CLLA	N13° 43' 56.00075"	O89° 33' 44.07139"	534.3999 m
Caserío Los Rosales	CLRO	N13° 37' 14.09508"	O89° 37' 10.06348"	333.6264 m
Cantón Paso de Canoa	CPDC	N13° 34' 55.59068"	O89° 37' 02.56347"	155.4103 m
Cantón Suncita	CSUN	N13° 37' 34.82589"	O89° 50' 54.16262"	14.8510 m
El Nance	ENAN	N13° 42' 24.29073"	O89° 54' 28.70042"	91.0238 m
El Obraje	EOBR	N13° 33' 40.99150"	O89° 45' 04.63746"	22.3300 m

El Zope II	EZOP	N13° 42' 50.26061"	O89° 48' 01.12573"	235.2570 m
Hacienda El Cojoyo	HECO	N13° 31' 45.25436"	O89° 38' 44.43784"	1.9496 m
Hacienda El Zope	HEZO	N13° 34' 18.74179"	O89° 48' 53.62626"	33.0447 m
Hacienda Miravalle	HMIR	N13° 36' 25.32409"	O89° 46' 14.53874"	92.2928 m
Hacienda Sihupilapa	HSIH	N13° 31' 12.12007"	O89° 36' 32.97174"	12.8490 m
Loma El Quebrachal	LEQU	N13° 34' 42.42604"	O89° 34' 17.82853"	469.6098 m
Litoral	LITO	N13° 34' 10.50089"	O89° 42' 36.08366"	20.5184 m
Noa1	NOA1	N13° 34' 52.21510"	O89° 49' 57.69515"	17.8300 m
Rancho Guaymoco	RGUA	N13° 46' 47.01398"	O89° 29' 03.11194"	526.7417 m
Rancho La Cruz	RLCR	N13° 41' 42.44841"	O89° 33' 08.85987"	586.8771 m
Rosa II	ROSA	N13° 42' 46.13415"	O89° 45' 55.91689"	271.1467 m
Rancho San Jorge	RSJO	N13° 45' 27.67885"	O89° 41' 16.11540"	470.7366 m
Salinitas	SALI	N13° 32' 47.72906"	O89° 48' 59.71251"	12.2992 m
Sálamo II	SALM	N13° 40' 28.05502"	O89° 49' 13.74248"	115.7112 m
San José	SJOS	N13° 50' 30.35982"	O89° 42' 27.68457"	1085.2853 m
Santa María	SMAR	N13° 37' 17.65507"	O89° 41' 18.59452"	174.7859 m
San Pablo	SPAB	N13° 49' 58.04452"	O89° 37' 57.32799"	1812.7295 m
Velesa	VELE	N13° 43' 13.30412"	O89° 40' 10.37674"	399.2416 m
Veracruz	VERA	N13° 46' 42.05606"	O89° 46' 14.61452"	671.9989 m
Vélez	VLEZ	N13° 33' 33.10656"	O89° 41' 04.46043"	3.0973 m

Tabla 5.8 *Coordenadas geográficas, época actual 2020.7883*

CAPÍTULO VI

VINCULACION DE MEDICIONES GPS AL MARCO DE REFERENCIA SIRGAS- ES2007

6.1 Cambio de Época de Vértices de la Red Geodésica del Departamento de Sonsonate

En el capítulo anterior se llevó a cabo el procesamiento y ajuste de la red geodésica. Este cálculo de coordenadas requirió que las estaciones de referencia de la red SIRGAS-ES2007 estuvieran en la época de observación que para este caso corresponde a la época 2020.7883 y como resultado de los procedimientos efectuados se obtuvieron los valores de coordenadas de la red en diferentes sistemas como lo son el Sistema de Coordenadas Geocéntricas y el Sistema de Coordenadas Geográficas que serán utilizadas en el desarrollo de este capítulo.

El objetivo es reducir las coordenadas obtenidas, a la época asociada al marco de referencia nacional, es decir 2007.8. Dicho procedimiento se llevará a cabo siguiendo la metodología utilizada en el Cambio de Época de las Coordenadas de Referencia (apartado 5.4) de este documento.

Cálculo De Coordenadas de la Red Geodésica de Sonsonate a la época de referencia 2007.8

El traslado de coordenadas será llevado a cabo utilizando las siguientes ecuaciones

$$X(t) = X(t_0) - (t - t_0) * V_x$$

$$Y(t) = Y(t_0) - (t - t_0) * V_y$$

$$Z(t) = Z(t_0) - (t - t_0) * V_z$$

Siendo:

$X(t), Y(t), Z(t)$, las coordenadas en la época deseada, 2007.8

$X(t_0), Y(t_0), Z(t_0)$, las coordenadas en la época actual, 2020.7883

$(t - t_0)$, el intervalo de tiempo transcurrido entre la realización del sistema de referencia y el levantamiento GNSS

V_x, V_y, V_z , las velocidades de las estaciones de la red.

Nótese que las ecuaciones anteriores son las mismas utilizadas en el cambio de época de coordenadas de referencia, sin embargo por tratarse de un proceso inverso se cambia el signo (+) de la ecuación por un signo (-).

Cálculo de coordenadas, correspondientes a la época de referencia 2007.8.

a. Cálculo de $(t - t_0)$

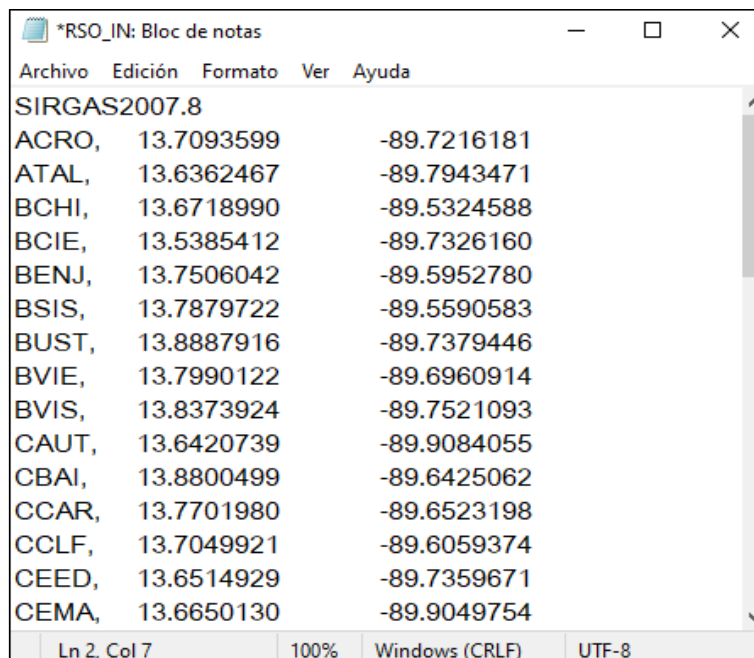
2020.7883	Año promedio de las observaciones GNSS
<u>2007.8000</u> -	Realización del Sistema SIRGAS-ES
12.9883	Intervalo de tiempo transcurrido $(t - t_0)$

b. Calculo de Velocidades: V_x, V_y y V_z

Para realizar el traslado de coordenadas es necesario contar con las velocidades de las estaciones, las cuales serán determinadas utilizando el modelo de SIRGAS VEMOS2009 (Drewes and Heidbach 2005), el cual interpola velocidades horizontales de una cuadrícula geográfica de $1^\circ \times 1^\circ$. Dicho procedimiento se realiza de acuerdo a los siguientes pasos.

1. El primer paso para determinar las velocidades de las estaciones que componen la red geodésica, es la creación de un archivo de entrada, en Bloc de notas cuyo

formato requiere de un texto arbitrario en la primera línea (sin uso de comas), el nombre de la estación a interpolar seguido de una coma, latitud y longitud, estas últimas en decimas de grado, tal como se muestra en la imagen. Para el caso se tiene **RSO_IN.txt**.

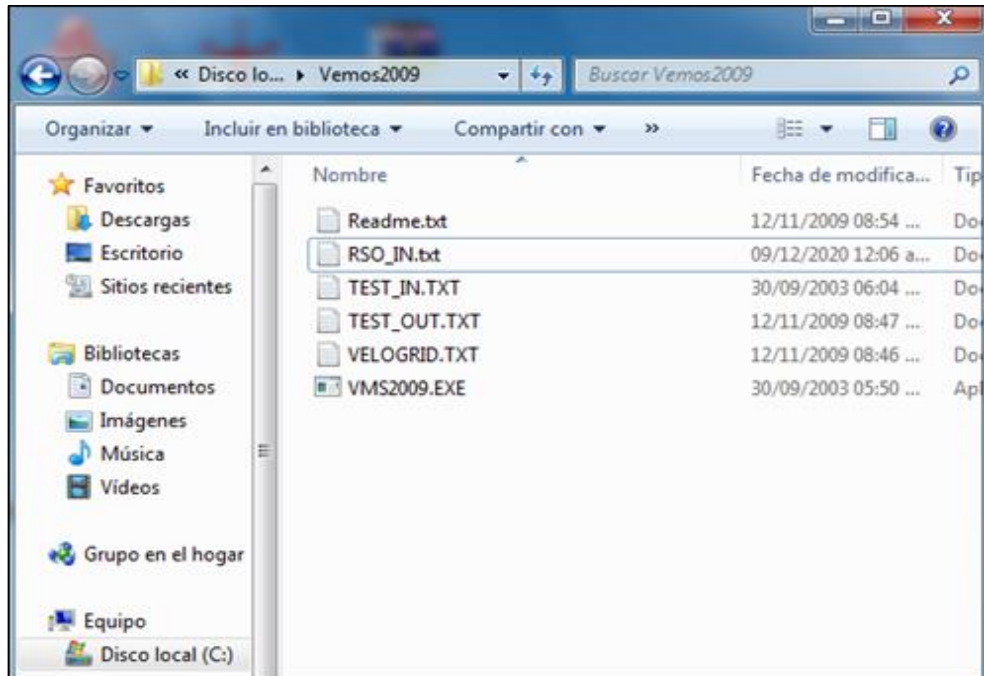


The screenshot shows a Notepad window with the following content:

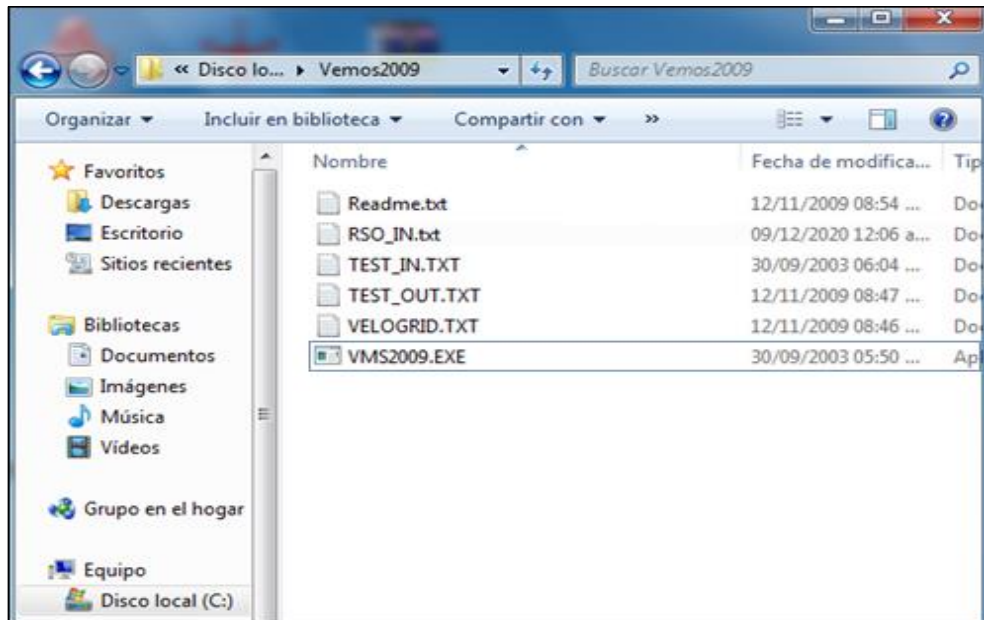
```
*RSO_IN: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
SIRGAS2007.8
ACRO, 13.7093599 -89.7216181
ATAL, 13.6362467 -89.7943471
BCHI, 13.6718990 -89.5324588
BCIE, 13.5385412 -89.7326160
BENJ, 13.7506042 -89.5952780
BSIS, 13.7879722 -89.5590583
BUST, 13.8887916 -89.7379446
BVIE, 13.7990122 -89.6960914
BVIS, 13.8373924 -89.7521093
CAUT, 13.6420739 -89.9084055
CBAI, 13.8800499 -89.6425062
CCAR, 13.7701980 -89.6523198
CCLF, 13.7049921 -89.6059374
CEED, 13.6514929 -89.7359671
CEMA, 13.6650130 -89.9049754
Ln 2, Col 7 100% Windows (CRLF) UTF-8
```

NOTA: para la creación del archivo en Bloc de notas se han tomado los valores de coordenadas geográficas de la tabla 5.8 (*Coordenadas geográficas, época actual 2020.7883*), expresados en décimas de grado.

2. Este archivo de entrada debe ser guardado en la carpeta del programa a utilizarse (**VEMOS2009**), el cual a su vez deberá encontrarse en la unidad de disco local del computador.

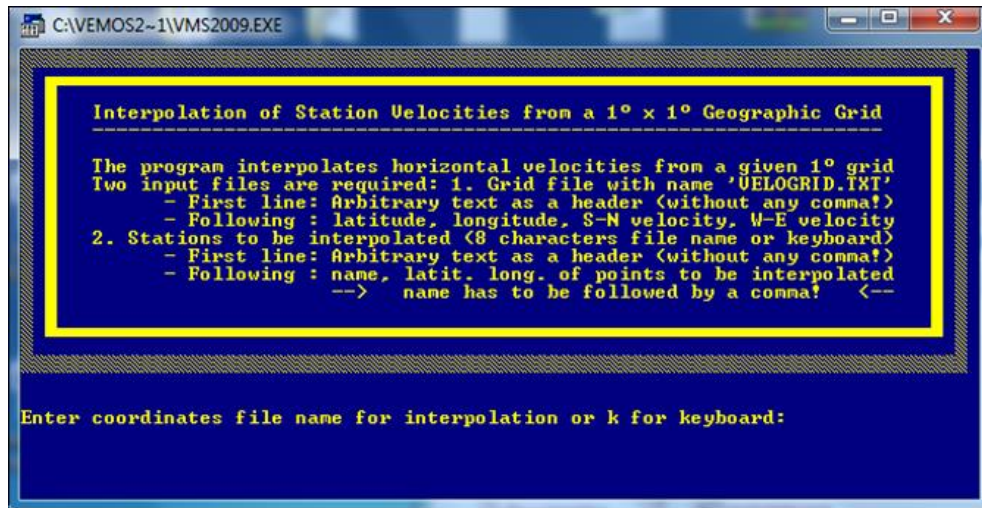


3. A continuación abrir el archivo ejecutable del programa, VMS2009.EXE



NOTA: VEMOS2009 es un software ejecutable únicamente en procesadores de 32 bits.

4. En la interfaz del programa se leen las instrucciones a seguir



```

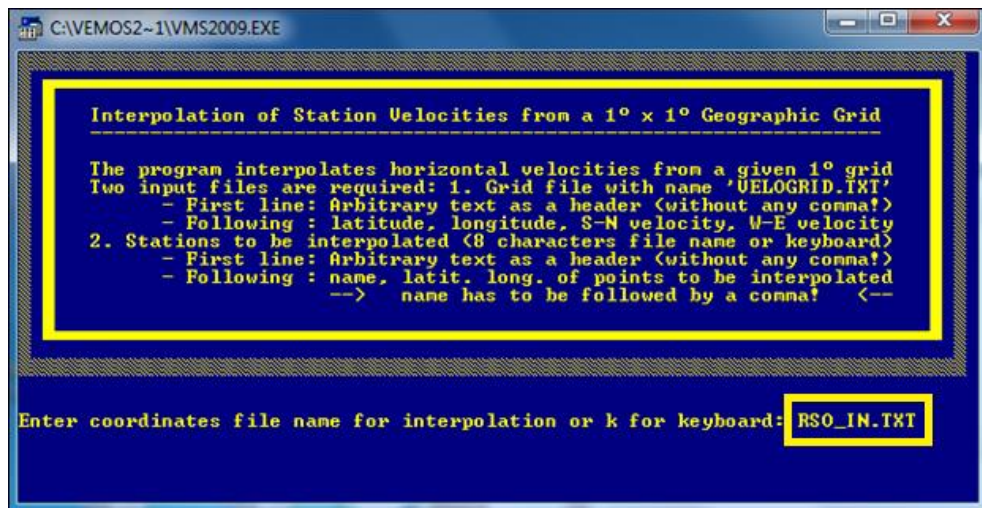
C:\VEMOS2-1\VMS2009.EXE

Interpolation of Station Velocities from a 1° x 1° Geographic Grid

The program interpolates horizontal velocities from a given 1° grid
Two input files are required: 1. Grid file with name 'UELOGRID.TXT'
- First line: Arbitrary text as a header <without any comma!>
- Following : latitude, longitude, S-N velocity, W-E velocity
2. Stations to be interpolated <8 characters file name or keyboard>
- First line: Arbitrary text as a header <without any comma!>
- Following : name, latit. long. of points to be interpolated
--> name has to be followed by a comma! <--

Enter coordinates file name for interpolation or k for keyboard:
  
```

5. Primero se debe ingresar el nombre del archivo de coordenadas de entrada, cuyo formato se muestra en el paso 1. Luego dar “Enter”



```

C:\VEMOS2-1\VMS2009.EXE

Interpolation of Station Velocities from a 1° x 1° Geographic Grid

The program interpolates horizontal velocities from a given 1° grid
Two input files are required: 1. Grid file with name 'UELOGRID.TXT'
- First line: Arbitrary text as a header <without any comma!>
- Following : latitude, longitude, S-N velocity, W-E velocity
2. Stations to be interpolated <8 characters file name or keyboard>
- First line: Arbitrary text as a header <without any comma!>
- Following : name, latit. long. of points to be interpolated
--> name has to be followed by a comma! <--

Enter coordinates file name for interpolation or k for keyboard: RSO_IN.TXT
  
```

6. Luego se asignará un nombre al archivo de salida de velocidades puntuales, con su respectiva extensión, para este caso se ha asignado el nombre **RSO_OUT.TXT**. Luego dar “Enter”

```

C:\VEMOS2-1\VMS2009.EXE

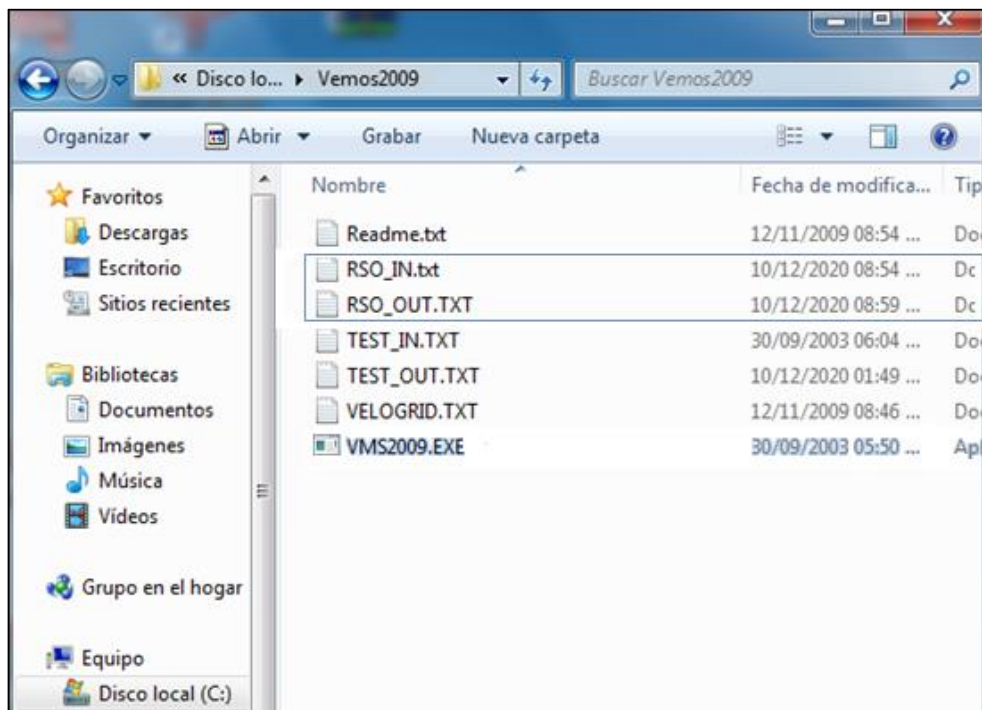
Interpolation of Station Velocities from a 1° x 1° Geographic Grid

The program interpolates horizontal velocities from a given 1° grid
Two input files are required: 1. Grid file with name 'UELOGRID.TXT'
- First line: Arbitrary text as a header (without any comma!)
- Following : latitude, longitude, S-N velocity, W-E velocity
2. Stations to be interpolated (8 characters file name or keyboard)
- First line: Arbitrary text as a header (without any comma!)
- Following : name, latit. long. of points to be interpolated
--> name has to be followed by a comma! <--

Enter coordinates file name for interpolation or k for keyboard: RSO_IN.TXT
Enter file name for output of the interpolated point velocities: RSO_OUT.TXT_

```

7. Una vez que el programa se cierra de forma automática, se debe revisar la carpeta en donde se ha creado el archivo de salida.



8. Este archivo se presenta en el formato que se muestra en la siguiente imagen y contiene los valores de velocidades requeridas, V_x , V_y y V_z .

*RSO_OUT: Bloc de notas

Archivo Edición Formato Ver Ayuda

Interpolated Station Velocities From 1 Degree * 1 Degree Velocity Field Grid

Geographic v(Lat), v(Long) and geocentric v(X), v(Y), v(Z) velocities [m/a]

SIRGAS2007.8

Interpolated from VEMOS2009 in ITRF2005 (Drewes and Heidbach 2009)

Station	Latitude	Longitude	v(Lat)	v(Long)	v(X)	v(Y)	v(Z)	no
ACRO	13.709	-89.722	0.0061	0.0058	0.0058	0.0015	0.0060	3
ATAL	13.636	-89.794	0.0061	0.0059	0.0058	0.0015	0.0060	3
BCHI	13.672	-89.532	0.0063	0.0061	0.0061	0.0015	0.0062	3
BCIE	13.539	-89.733	0.0063	0.0061	0.0061	0.0015	0.0061	3
BENJ	13.751	-89.595	0.0062	0.0060	0.0060	0.0015	0.0061	3
BSIS	13.788	-89.559	0.0063	0.0060	0.0060	0.0015	0.0061	3
BUST	13.889	-89.738	0.0060	0.0056	0.0056	0.0015	0.0058	3
BVIE	13.799	-89.696	0.0061	0.0058	0.0058	0.0015	0.0059	3
BVIS	13.837	-89.752	0.0060	0.0056	0.0056	0.0015	0.0058	3
CAUT	13.642	-89.908	0.0061	0.0057	0.0057	0.0014	0.0059	3
CBAI	13.880	-89.643	0.0061	0.0058	0.0058	0.0015	0.0059	3

Ln 9, Col 109 100% Windows (CRLF) UTF-8

Resultados

SIRGAS2007.8

Interpolated from VEMOS2009 in ITRF2005 (Drewes and Heidbach 2009)

Station	Latitude	Longitude	v(Lat)	v(Long)	v(X)	v(Y)	v(Z)	no
ACRO	13.709	-89.722	0.0061	0.0058	0.0058	0.0015	0.0060	3
ATAL	13.636	-89.794	0.0061	0.0059	0.0058	0.0015	0.0060	3
BCHI	13.672	-89.532	0.0063	0.0061	0.0061	0.0015	0.0062	3
BCIE	13.539	-89.733	0.0063	0.0061	0.0061	0.0015	0.0061	3
BENJ	13.751	-89.595	0.0062	0.0060	0.0060	0.0015	0.0061	3
BSIS	13.788	-89.559	0.0063	0.0060	0.0060	0.0015	0.0061	3
BUST	13.889	-89.738	0.0060	0.0056	0.0056	0.0015	0.0058	3
BVIE	13.799	-89.696	0.0061	0.0058	0.0058	0.0015	0.0059	3
BVIS	13.837	-89.752	0.0060	0.0056	0.0056	0.0015	0.0058	3
CAUT	13.642	-89.908	0.0061	0.0057	0.0057	0.0014	0.0059	3
CBAI	13.880	-89.643	0.0061	0.0058	0.0058	0.0015	0.0059	3
CCAR	13.770	-89.652	0.0062	0.0059	0.0059	0.0015	0.0060	3
CCLF	13.705	-89.606	0.0063	0.0060	0.0060	0.0015	0.0061	3
CEED	13.651	-89.736	0.0062	0.0059	0.0059	0.0015	0.0060	3
CEMA	13.665	-89.905	0.0060	0.0057	0.0057	0.0014	0.0059	3
CEPE	13.827	-89.563	0.0062	0.0060	0.0059	0.0015	0.0061	3
CLCR	13.633	-89.564	0.0063	0.0061	0.0061	0.0015	0.0062	3
CLEN	13.662	-89.642	0.0063	0.0060	0.0060	0.0015	0.0061	3
CLLA	13.732	-89.562	0.0063	0.0060	0.0060	0.0015	0.0061	3
CLRO	13.621	-89.619	0.0063	0.0061	0.0061	0.0015	0.0061	3

CPDC	13.582	-89.617	0.0063	0.0061	0.0061	0.0015	0.0061	3
CSUN	13.626	-89.848	0.0061	0.0058	0.0058	0.0015	0.0059	3
ENAN	13.707	-89.908	0.0060	0.0056	0.0056	0.0014	0.0058	3
EOBR	13.561	-89.751	0.0062	0.0060	0.0060	0.0015	0.0061	3
EZOP	13.714	-89.800	0.0061	0.0057	0.0057	0.0015	0.0059	3
HECO	13.529	-89.646	0.0063	0.0062	0.0062	0.0015	0.0062	3
HEZO	13.572	-89.815	0.0062	0.0059	0.0059	0.0015	0.0060	3
HMIR	13.607	-89.771	0.0062	0.0059	0.0059	0.0015	0.0060	3
HSIH	13.520	-89.609	0.0064	0.0062	0.0062	0.0015	0.0062	3
LEQU	13.578	-89.572	0.0064	0.0062	0.0062	0.0015	0.0062	3
LITO	13.570	-89.710	0.0063	0.0060	0.0060	0.0015	0.0061	3
NOA1	13.581	-89.833	0.0062	0.0059	0.0059	0.0015	0.0060	3
RGUA	13.780	-89.484	0.0063	0.0061	0.0061	0.0016	0.0061	3
RLCR	13.695	-89.552	0.0063	0.0061	0.0061	0.0015	0.0061	3
ROSA	13.713	-89.766	0.0061	0.0058	0.0058	0.0015	0.0059	3
RSJO	13.758	-89.688	0.0061	0.0058	0.0058	0.0015	0.0060	3
SALI	13.547	-89.817	0.0062	0.0060	0.0060	0.0015	0.0060	3
SALM	13.674	-89.820	0.0061	0.0058	0.0058	0.0015	0.0059	3
SJOS	13.842	-89.708	0.0061	0.0057	0.0057	0.0015	0.0059	3
SMAR	13.622	-89.688	0.0062	0.0060	0.0060	0.0015	0.0061	3
SPAB	13.833	-89.633	0.0062	0.0058	0.0058	0.0015	0.0060	3
VELE	13.720	-89.670	0.0062	0.0059	0.0059	0.0015	0.0060	3
VERA	13.778	-89.771	0.0060	0.0057	0.0057	0.0015	0.0059	3
VLEZ	13.559	-89.685	0.0063	0.0061	0.0061	0.0015	0.0061	3

Tabla 6.1 Variación de velocidades de la red geodésica de Sonsonate, época 2007.8

c. Coordenadas geocéntricas de estaciones de referencia, época 2020.7883

Nombre de Punto	Código	X[m]	Y[m]	Z[m]
Acrópolis	ACRO	30113.0171	-6197728.3448	1501812.7228
Atalayita	ATAL	22252.2916	-6199556.4237	1493924.2619
Beneficio Chilata	BCHI	50585.8575	-6199008.3039	1497890.9360
Barra Ciega	BCIE	28943.2113	-6201986.4384	1483397.2016
Benjamín I	BENJ	43774.0199	-6196907.7341	1506329.7731
Beneficio San Isidro	BSIS	47685.2032	-6196072.2977	1510389.1887
Bustamante	BUST	28330.6010	-6194157.5361	1521378.1181
Barra Vieja	BVIE	32864.0130	-6195782.1559	1511552.1598
Buena Vista	BVIS	26803.5696	-6195157.1217	1515764.6755
Cauta	CAUT	9910.4467	-6199346.3674	1494528.9345
Cantón Buenos Aires	CBAI	38651.1661	-6194569.1400	1520497.1388
Cantón Chorro Arriba	CCAR	37601.7936	-6196492.4417	1508450.2282
Caserío Cerro Las Flores	CCLF	42629.9070	-6198191.2814	1501446.1014
Caserío El Edén	CEED	28567.5081	-6199175.3050	1495573.8281
Cantón El Maizal	CEMA	10280.6169	-6198770.4198	1497000.8827
Cerro Perico	CEPE	47287.5014	-6195371.3232	1514626.3215
Cantón La Cruzona I	CLCR	47168.2278	-6200039.7570	1493755.7884

Cantón La Ensenada	CLEN	38689.8029	-6199115.5668	1496762.4121
Cooperativa Los Lagartos	CLLA	47350.4910	-6197330.0918	1504345.6785
Caserío Los Rosales	CLRO	41179.4337	-6200099.7107	1492296.0990
Cantón Paso de Canoa	CPDC	41410.4041	-6200925.9995	1488116.8651
Cantón Suncita	CSUN	16406.4142	-6199754.8785	1492840.2100
El Nance	ENAN	9954.7311	-6197740.7445	1501502.3317
El Obraje	EOBR	26919.5176	-6201414.4708	1485857.0340
El Zope II	EZOP	21600.1843	-6197662.0524	1502311.9128
Hacienda El Cojoyo	HECO	38355.3123	-6202167.5501	1482394.3533
Hacienda El Zope	HEZO	20034.0386	-6201178.8084	1486987.3259
Hacienda Miravalle	HMIR	24813.4378	-6200305.0593	1490782.5185
Hacienda Sihupilapa	HSIH	42310.0496	-6202390.5744	1481406.8572
Loma El Quebrachal	LEQU	46365.8004	-6201291.3553	1487797.3566
Litoral	LITO	31384.7403	-6201179.0002	1486738.1964
Noa1	NOA1	18107.1118	-6200928.4607	1487983.7180
Rancho Guaymoco	RGUA	55780.6945	-6196002.6223	1509449.2062
Rancho La Cruz	RLCR	48416.4371	-6198345.9812	1500370.3857
Rosa II	ROSA	25362.6101	-6197712.7296	1502197.2149
Rancho San Jorge	RSJO	33764.5132	-6196687.6601	1507067.5813
Salinitas	SALI	19853.0951	-6201814.9883	1484263.4036
Sálamo II	SALM	19421.1371	-6198587.7776	1498037.4137
San José	SJOS	31606.1256	-6195076.7225	1516248.9564
Santa María	SMAR	33707.8486	-6199964.6911	1492365.0255
San Pablo	SPAB	39732.1952	-6195973.8657	1515458.3999
Velesa	VELE	35744.7144	-6197587.9828	1503038.8169
Veracruz	VERA	24795.4591	-6196381.4663	1509335.8045
Vélez	VLEZ	34140.7034	-6201417.0408	1485616.9589

Tabla 6.2 Coordenadas geocéntricas de la red geodésica de Sonsonate, época 2020.7883

Ejemplos de cálculo de Coordenadas Geocéntricas aplicando fórmulas

$$X(t) = X(t_0) - (t - t_0) * V_x$$

$$Y(t) = Y(t_0) - (t - t_0) * V_y$$

$$Z(t) = Z(t_0) - (t - t_0) * V_z$$

Ejemplo 1

Vértice Acrópolis, (ID: ACRO)

$$X(t) = 30113.0171 - (12.9883) \cdot 0.0058$$

$$X(t) = 30112.94176786$$

$$Y(t) = -6197728.3448 - (12.9883) \cdot 0.0015$$

$$Y(t) = -6197728.3642825$$

$$Z(t) = 1501812.7228 - (12.9883) \cdot 0.0060$$

$$Z(t) = 1501812.6448702$$

Ejemplo 2

Vértice Atalayita (ID: ATAL)

$$X(t) = 22252.2916 + (12.9883) \cdot 0.0058$$

$$X(t) = 22252.21626786$$

$$Y(t) = -6199556.4237 + (12.9883) \cdot 0.0015$$

$$Y(t) = -6199556.44318245$$

$$Z(t) = 1493924.2619 + (12.9883) \cdot 0.0060$$

$$Z(t) = 1493924.1839702$$

Y así sucesivamente para el resto de cálculos, los cuales se realizaron utilizando una hoja de cálculo (Figura 6.1)

NUMERO	NOMBRE DEL PUNTO	COORDENADAS EN LA EPOCA DE REFERENCIA 2020.7883			VELOCIDADES DE LA ESTACION DE REFERENCIA			COORDENADAS EN LA EPOCA DESEADA 2007.8			
		X(t0)-m	Y(t0)-m	Z(t0)-m	Vx	Vy	Vz	X(t)	Y(t)	Z(t)	
		7	1	ACRO	30113.0171	-6197728.3448	1501812.7228	0.0058	0.0015	0.0060	30112.94176786
8	2	ATAL	22252.2916	-6199556.4237	1493924.2619	0.0058	0.0015	0.0060	22252.21626786	-6199556.44318245	1493924.18397020
9	3	BCHI	50585.8575	-6199008.3039	1497890.9360	0.0061	0.0015	0.0062	50585.77827137	-6199008.32338245	1497890.85547254
10	4	BCIE	28943.2113	-6201986.4384	1483397.2016	0.0061	0.0015	0.0061	28943.13207137	-6201986.45788245	1483397.12237137
11	5	BENU	43774.0199	-6196907.7341	1506329.7731	0.0060	0.0015	0.0061	43773.94197020	-6196907.75358245	1506329.69387137
12	6	BSIS	47685.2032	-6196072.2977	1510389.1887	0.0060	0.0015	0.0061	47685.12527020	-6196072.31718245	1510389.10947137
13	7	BUST	28330.6010	-6194157.5361	1521378.1181	0.0056	0.0015	0.0058	28330.52826552	-6194157.55558245	1521378.04276786
14	8	BVIE	32864.0130	-6195782.1559	1511552.1598	0.0058	0.0015	0.0059	32863.93766786	-6195782.17538245	1511552.08316903
15	9	BVIS	26803.5696	-6195157.1217	1515764.6755	0.0056	0.0015	0.0058	26803.49686552	-6195157.14118245	1515764.60016786
16	10	CAUT	9910.4467	-6199346.3674	1494528.9345	0.0057	0.0014	0.0059	9910.37266669	-6199346.38558362	1494528.85786903
17	11	CBAI	38651.1661	-6194569.1400	1520497.1388	0.0058	0.0015	0.0059	38651.09076786	-6194569.15948245	1520497.06216903
18	12	CCAR	37601.7936	-6196492.4417	1508450.2282	0.0059	0.0015	0.0060	37601.71696903	-6196492.46118245	1508450.15027020
19	13	CCLF	42629.9070	-6198191.2814	1501446.1014	0.0060	0.0015	0.0061	42629.82907020	-6198191.30088245	1501446.02217137
20	14	CEED	28567.5081	-6199175.3050	1495573.8281	0.0059	0.0015	0.0060	28567.43146903	-6199175.32448245	1495573.75017020
21	15	CEMA	10280.6169	-6198770.4198	1497000.8827	0.0057	0.0014	0.0059	10280.54286669	-6198770.43798362	1497000.80606903
22	16	CEPE	47267.5014	-6195371.3232	1514626.3215	0.0059	0.0015	0.0061	47267.42476903	-6195371.34268245	1514626.24227137
23	17	CLCR	47168.2278	-6200039.7570	1493755.7884	0.0061	0.0015	0.0062	47168.14857137	-6200039.77648245	1493755.70787254
24	18	CLEN	38689.8029	-6199115.5688	1496762.4121	0.0060	0.0015	0.0061	38689.72497020	-6199115.58628245	1496762.33287137
25	19	CLLA	47350.4910	-6197330.0918	1504345.6785	0.0060	0.0015	0.0061	47350.41307020	-6197330.11128245	1504345.59927137
26	20	CLRO	41179.4337	-6200099.7107	1492296.0990	0.0061	0.0015	0.0061	41179.35447137	-6200099.73018245	1492296.01977137
27	21	CPDC	41410.4041	-6200925.9995	1488116.8651	0.0061	0.0015	0.0061	41410.32487137	-6200926.01898245	1488116.78587137
28	22	CSUN	16406.4142	-6199754.8785	1492840.2100	0.0058	0.0015	0.0059	16406.33886786	-6199754.89798245	1492840.13336903

Figura 6.1 Cálculo de coordenadas utilizando Excel

**Coordenadas Geocéntricas de la Red Geodésica del Departamento de Sonsonate
en la época de Referencia, 2007.8**

Nombre de Punto	Código	X[m]	Y[m]	Z[m]
Acrópolis	ACRO	30112.94176786	-6197728.3642825	1501812.6448702
Atalayita	ATAL	22252.21626786	-6199556.4431825	1493924.1839702
Beneficio Chilata	BCHI	50585.77827137	-6199008.3233825	1497890.8554725
Barra Ciega	BCIE	28943.13207137	-6201986.4578825	1483397.1223714
Benjamín I	BENJ	43773.94197020	-6196907.7535825	1506329.6938714
Beneficio San Isidro	BSIS	47685.12527020	-6196072.3171825	1510389.1094714
Bustamante	BUST	28330.52826552	-6194157.5555825	1521378.0427679
Barra Vieja	BVIE	32863.93766786	-6195782.1753825	1511552.0831690
Buena Vista	BVIS	26803.49686552	-6195157.1411825	1515764.6001679
Cauta	CAUT	9910.37266669	-6199346.3855836	1494528.8578690
Cantón Buenos Aires	CBAI	38651.09076786	-6194569.1594825	1520497.0621690
Cantón Chorro Arriba	CCAR	37601.71696903	-6196492.4611825	1508450.1502702
Caserío Cerro Las Flores	CCLF	42629.82907020	-6198191.3008825	1501446.0221714
Caserío El Edén	CEED	28567.43146903	-6199175.3244825	1495573.7501702
Cantón El Maizal	CEMA	10280.54286669	-6198770.4379836	1497000.8060690
Cerro Perico	CEPE	47287.42476903	-6195371.3426825	1514626.2422714
Cantón La Cruzona I	CLCR	47168.14857137	-6200039.7764825	1493755.7078725
Cantón La Ensenada	CLEN	38689.72497020	-6199115.5862825	1496762.3328714
Cooperativa Los Lagartos	CLLA	47350.41307020	-6197330.1112825	1504345.5992714
Caserío Los Rosales	CLRO	41179.35447137	-6200099.7301825	1492296.0197714
Cantón Paso de Canoa	CPDC	41410.32487137	-6200926.0189825	1488116.7858714
Cantón Suncita	CSUN	16406.33886786	-6199754.8979825	1492840.1333690
El Nance	ENAN	9954.65836552	-6197740.7626836	1501502.2563679
El Obraje	EOBR	26919.43967020	-6201414.4902825	1485856.9547714
El Zope II	EZOP	21600.11026669	-6197662.0718825	1502311.8361690
Hacienda El Cojoyo	HECO	38355.23177254	-6202167.5695825	1482394.2727725
Hacienda El Zope	HEZO	20033.96196903	-6201178.8278825	1486987.2479702
Hacienda Miravalle	HMIR	24813.36116903	-6200305.0787825	1490782.4405702
Hacienda Sihuapilapa	HSIH	42309.96907254	-6202390.5938825	1481406.7766725
Loma El Quebrachal	LEQU	46365.71987254	-6201291.3747825	1487797.2760725
Litoral	LITO	31384.66237020	-6201179.0196825	1486738.1171714
Noa1	NOA1	18107.03516903	-6200928.4801825	1487983.6400702
Rancho Guaymoco	RGUA	55780.61527137	-6196002.6430813	1509449.1269714
Rancho La Cruz	RLCR	48416.35787137	-6198346.0006825	1500370.3064714
Rosa II	ROSA	25362.53476786	-6197712.7490825	1502197.1382690
Rancho San Jorge	RSJO	33764.43786786	-6196687.6795825	1507067.5033702
Salinitas	SALI	19853.01717020	-6201815.0077825	1484263.3256702

Sálamo II	SALM	19421.06176786	-6198587.7970825	1498037.3370690
San José	SJOS	31606.05156669	-6195076.7419825	1516248.8797690
Santa María	SMAR	33707.77067020	-6199964.7105825	1492364.9462714
San Pablo	SPAB	39732.11986786	-6195973.8851825	1515458.3219702
Velesa	VELE	35744.6377690	-6197588.0022825	1503038.7389702
Veracruz	VERA	24795.3850667	-6196381.4857825	1509335.7278690
Vélez	VLEZ	34140.6241714	-6201417.0602825	1485616.8796714

Tabla 6.3 Coordenadas geocéntricas de la red geodésica de Sonsonate, época 2007.8

Proceso de Conversión de Coordenadas Cartesianas Geocéntricas a Coordenadas Geográficas Época 2007.8

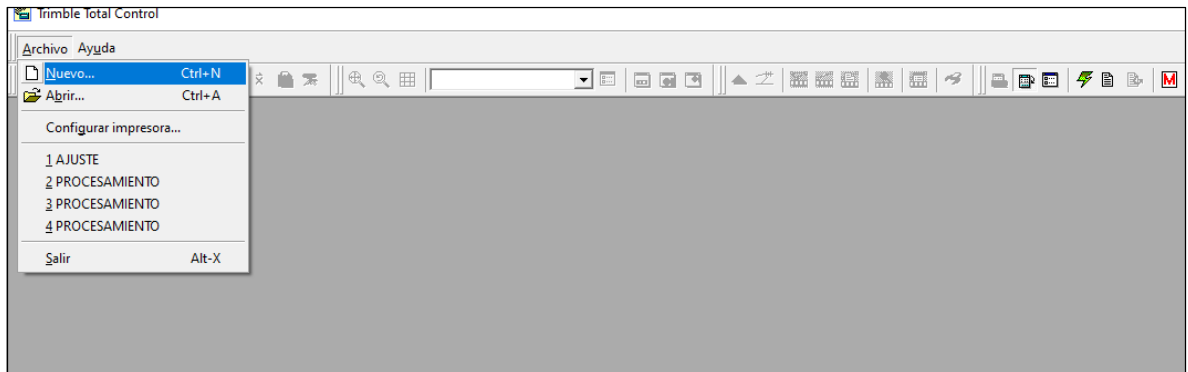
Este proceso se ha llevado a cabo utilizando el software Geographic Calculator (ver anexo H) y Trimble Total Control, el cual se presenta a continuación.

Proceso de conversión utilizando Trimble Total Control

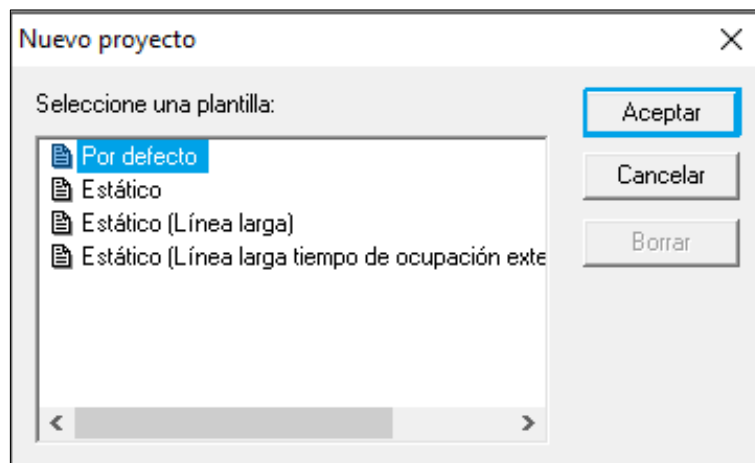
1. Primero se creará un archivo en Bloc de notas, el cual debe contener la identificación del vértice seguida de su coordenada en X, Y y Z (sin encabezado), como se muestra en la imagen. Este debe ser guardado con la extensión (.xyz). Para este caso se tiene el archivo "COORDENADAS CARTESIANAS RSO.xyz".

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
ACRO	30112.94176786	-6197728.3642825	1501812.6448702	
ATAL	22252.21626786	-6199556.4431825	1493924.1839702	
BCHI	50585.77827137	-6199008.3233825	1497890.8554725	
BCIE	28943.13207137	-6201986.4578825	1483397.1223714	
BENJ	43773.94197020	-6196907.7535825	1506329.6938714	
BSIS	47685.12527020	-6196072.3171825	1510389.1094714	
BUST	28330.52826552	-6194157.5555825	1521378.0427679	
BVIE	32863.93766786	-6195782.1753825	1511552.0831690	
BVIS	26803.49686552	-6195157.1411825	1515764.6001679	
CAUT	9910.37266669	-6199346.3855836	1494528.8578690	
CBAI	38651.09076786	-6194569.1594825	1520497.0621690	
CCAR	37601.71696903	-6196492.4611825	1508450.1502702	
CCLF	42629.82907020	-6198191.3008825	1501446.0221714	

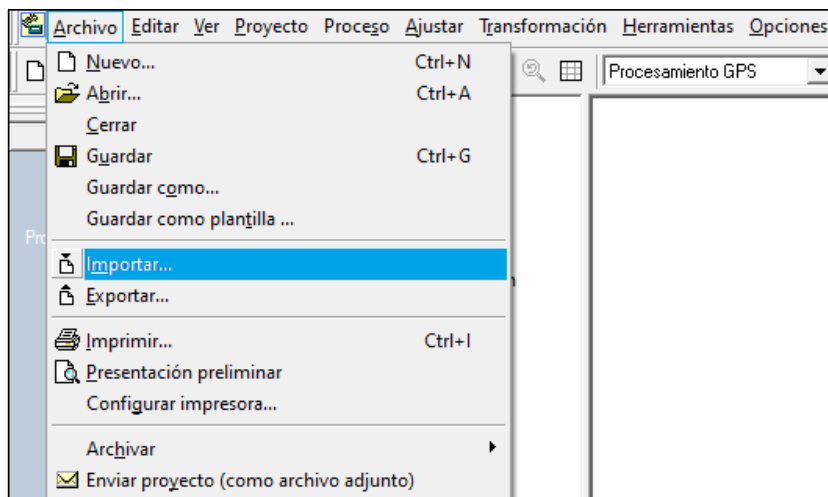
2. Ingresar al software Trimble Total Control y crear un nuevo proyecto seleccionando el menú “Archivo”, “Nuevo”.



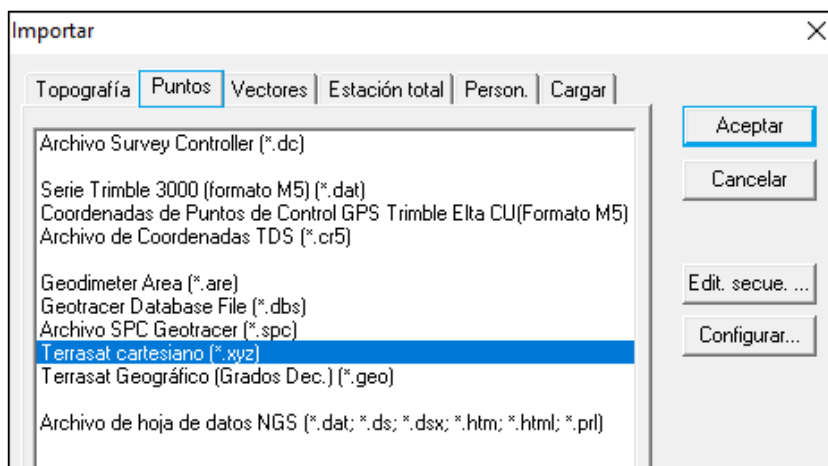
3. A continuación en la ventana seleccionar entre las plantillas, “Nuevo proyecto”, elegir la opción “Por defecto” y “Aceptar”



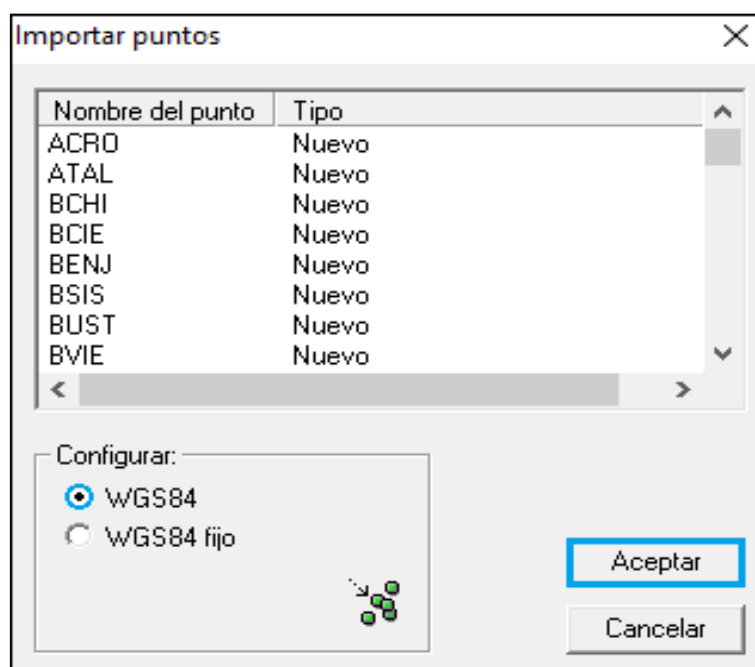
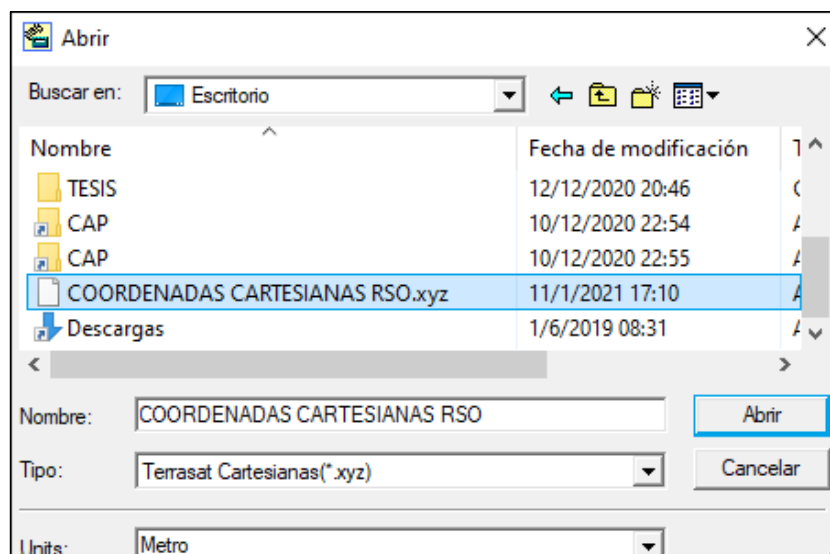
4. En el proyecto creado, seleccionar el menú “Archivo”, y la opción “Importar”.



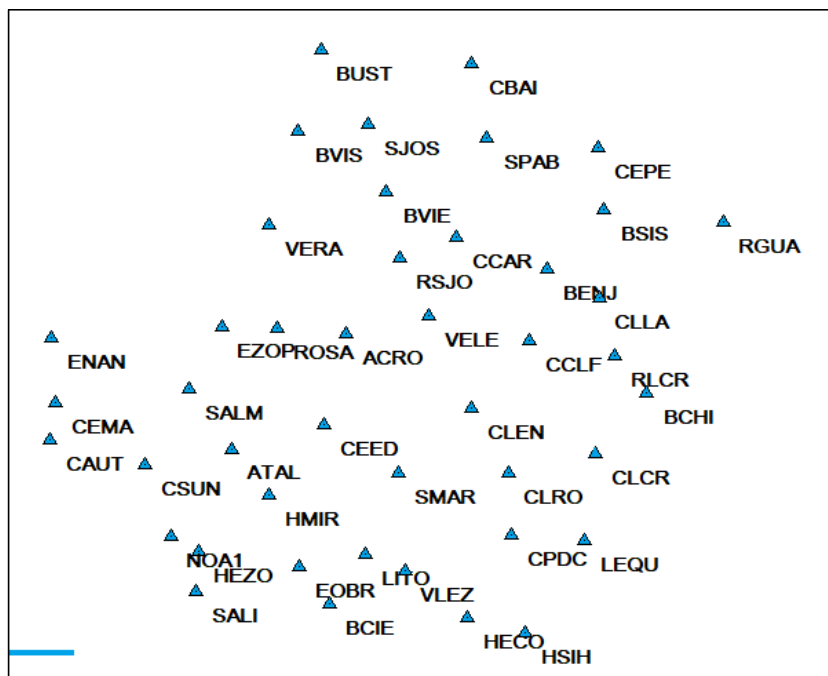
5. En la ventana "Importar" seleccionar la pestaña "Puntos" y en ésta la opción "Terrasat cartesiano (*xyz)", luego "Aceptar"



6. Luego abrir y cargar en el sistema WGS-84 el archivo en Bloc de notas creado previamente y dar clic en "Aceptar"



7. Cuando se haya importado el archivo, aparecerá el mapa de coordenadas como se observa en la imagen.



8. Finalmente para verificar las coordenadas se debe cargar el informe correspondiente, yendo al menú “Proyecto”, “Informes” y la opción “Revisión de Coordenadas” (ver anexo I).

NOTA: es importante guardar el proyecto con un nombre fácilmente identificable, esto facilitará la consulta de datos. En esta caso se ha nombrado como “RED DE SONSONATE, ÉPOCA 2007.8”.

Resultado de Coordenadas Geográficas 2007.8

Nombre de Punto	Código	Latitud	Longitud	Altitud
Acrópolis	ACRO	N 13° 42' 33.69317"	O 89° 43' 17.82778"	215.8366 m
Atalayita	ATAL	N 13° 38' 10.48560"	O 89° 47' 39.65198"	95.1820 m
Beneficio Chilata	BCHI	N 13° 40' 18.83366"	O 89° 31' 56.85431"	660.6772 m
Barra Ciega	BCIE	N 13° 32' 18.74559"	O 89° 43' 57.42031"	10.9103 m
Benjamín I	BENJ	N 13° 45' 02.17231"	O 89° 35' 43.00341"	569.9027 m
Beneficio San Isidro	BSIS	N 13° 47' 16.69721"	O 89° 33' 32.61231"	752.7242 m
Bustamante	BUST	N 13° 53' 19.64723"	O 89° 44' 16.60292"	1406.6599 m
Barra Vieja	BVIE	N 13° 47' 56.44143"	O 89° 41' 45.93149"	654.6760 m
Buena Vista	BVIS	N 13° 50' 14.61000"	O 89° 45' 07.59591"	1025.5256 m
Cauta	CAUT	N 13° 38' 31.46354"	O 89° 54' 30.26212"	2.5231 m
Cantón Buenos Aires	CBAI	N 13° 52' 48.17715"	O 89° 38' 33.02490"	1648.9964 m

Cantón Chorro Arriba	CCAR	N 13° 46' 12.71031"	O 89° 39' 08.35389"	631.5517 m
Caserío Cerro Las Flores	CCLF	N 13° 42' 17.96877"	O 89° 36' 21.37731"	650.0651 m
Caserío El Edén	CEED	N 13° 39' 05.37191"	O 89° 44' 09.48421"	139.0853 m
Cantón El Maizal	CEMA	N 13° 39' 54.04440"	O 89° 54' 17.91406"	26.9420 m
Cerro Perico	CEPE	N 13° 49' 36.03084"	O 89° 33' 45.67272"	1080.2892 m
Cantón La Cruzona I	CLCR	N 13° 38' 00.38129"	O 89° 33' 50.82598"	660.7309 m
Cantón La Ensenada	CLEN	N 13° 39' 42.98930"	O 89° 38' 32.68330"	415.0235 m
Cooperativa Los Lagartos	CLLA	N 13° 43' 55.99810"	O 89° 33' 44.07399"	534.3994 m
Caserío Los Rosales	CLRO	N 13° 37' 14.09243"	O 89° 37' 10.06612"	333.6262 m
Cantón Paso de Canoa	CPDC	N 13° 34' 55.58803"	O 89° 37' 02.56611"	155.4101 m
Cantón Suncita	CSUN	N 13° 37' 34.82332"	O 89° 50' 54.16513"	14.8517 m
El Nance	ENAN	N 13° 42' 24.28821"	O 89° 54' 28.70284"	91.0236 m
El Obraje	EOBR	N 13° 33' 40.98884"	O 89° 45' 04.64006"	22.3300 m
El Zope II	EZOP	N 13° 42' 50.25804"	O 89° 48' 01.12820"	235.2576 m
Hacienda El Cojoyo	HECO	N 13° 31' 45.25167"	O 89° 38' 44.44053"	1.9492 m
Hacienda El Zope	HEZO	N 13° 34' 18.73918"	O 89° 48' 53.62881"	33.0451 m
Hacienda Miravalle	HMIR	N 13° 36' 25.32148"	O 89° 46' 14.54129"	92.2931 m
Hacienda Sihupilapa	HSIH	N 13° 31' 12.11738"	O 89° 36' 32.97442"	12.8486 m
Loma El Quebrachal	LEQU	N 13° 34' 42.42335"	O 89° 34' 17.83121"	469.6092 m
Litoral	LITO	N 13° 34' 10.49824"	O 89° 42' 36.08625"	20.5184 m
Noa1	NOA1	N 13° 34' 52.21249"	O 89° 49' 57.69770"	17.8304 m
Rancho Guaymoco	RGUA	N 13° 46' 47.01133"	O 89° 29' 03.11458"	526.7423 m
Rancho La Cruz	RLCR	N 13° 41' 42.44576"	O 89° 33' 08.86252"	586.8767 m
Rosa II	ROSA	N 13° 42' 46.13158"	O 89° 45' 55.91940"	271.1472 m
Rancho San Jorge	RSJO	N 13° 45' 27.67624"	O 89° 41' 16.11791"	470.7365 m
Salinitas	SALI	N 13° 32' 47.72644"	O 89° 48' 59.71511"	12.2997 m
Sálamo II	SALM	N 13° 40' 28.05245"	O 89° 49' 13.74499"	115.7117 m
San José	SJOS	N 13° 50' 30.35725"	O 89° 42' 27.68704"	1085.2855 m
Santa María	SMAR	N 13° 37' 17.65241"	O 89° 41' 18.59712"	174.7858 m
San Pablo	SPAB	N 13° 49' 58.04110"	O 89° 37' 57.33050"	1812.7293 m
Velesa	VELE	N 13° 43' 13.30151"	O 89° 40' 10.37929"	399.2416 m
Veracruz	VERA	N 13° 46' 42.05349"	O 89° 46' 14.61699"	671.9993 m
Vélez	VLEZ	N 13° 33' 33.10391"	O 89° 41' 04.46307"	3.0973 m

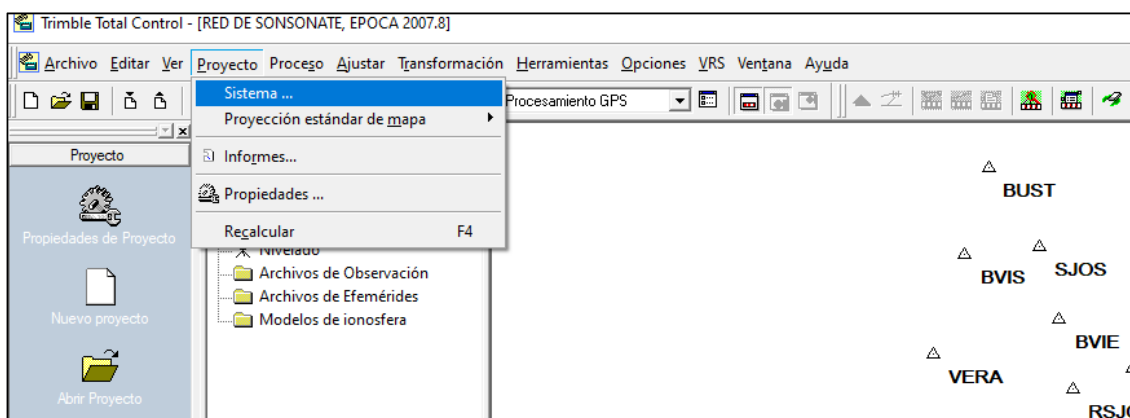
Tabla 6.4 Coordenadas geográfica de la red geodésica de Sonsonate, Época 2007.8

Proceso de Conversión de Coordenadas Cartesianas Geocéntricas a Coordenadas Planas Lambert, Época 2007.8

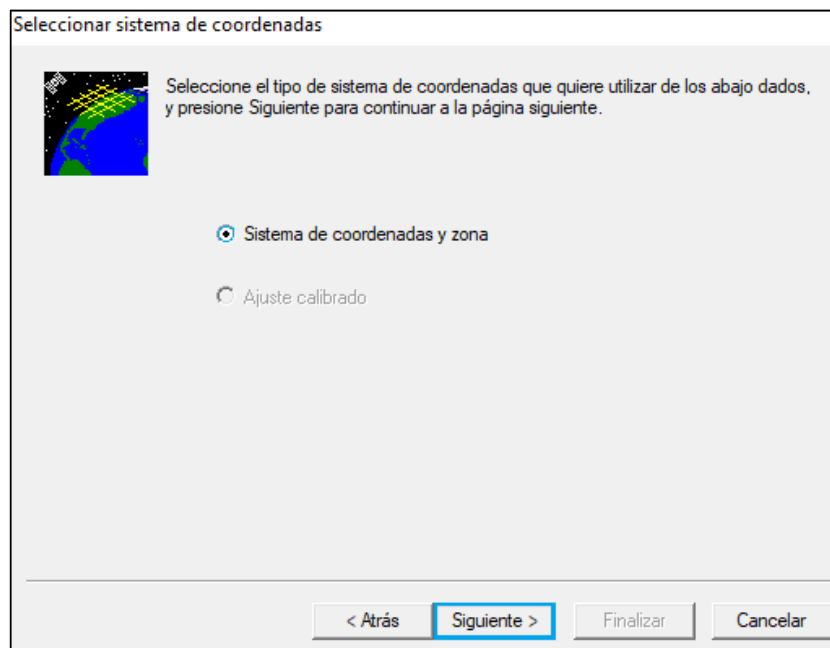
Una vez que se han procesado los datos de la red, obteniendo las coordenadas WGS-84 en la época 2007.8, es necesario proceder al cambio de sistema para el cálculo de

coordenadas planas Lambert referidas al sistema local. Este proceso se lleva a cabo de la siguiente manera.

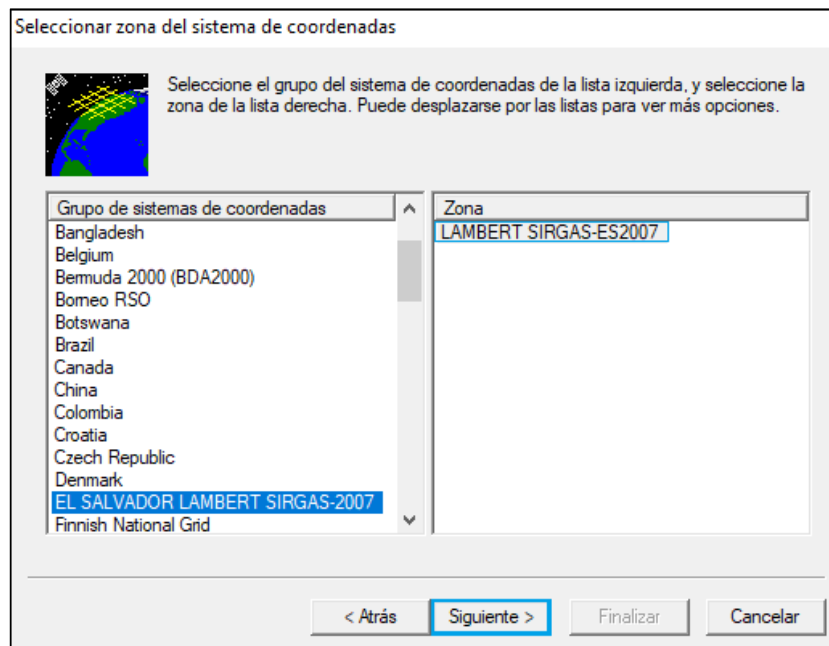
1. En el archivo RED DE SONSONATE, ÉPOCA 2007.8, seleccionar de la barra de menú “Proyecto” y elegir la opción “Sistema”.



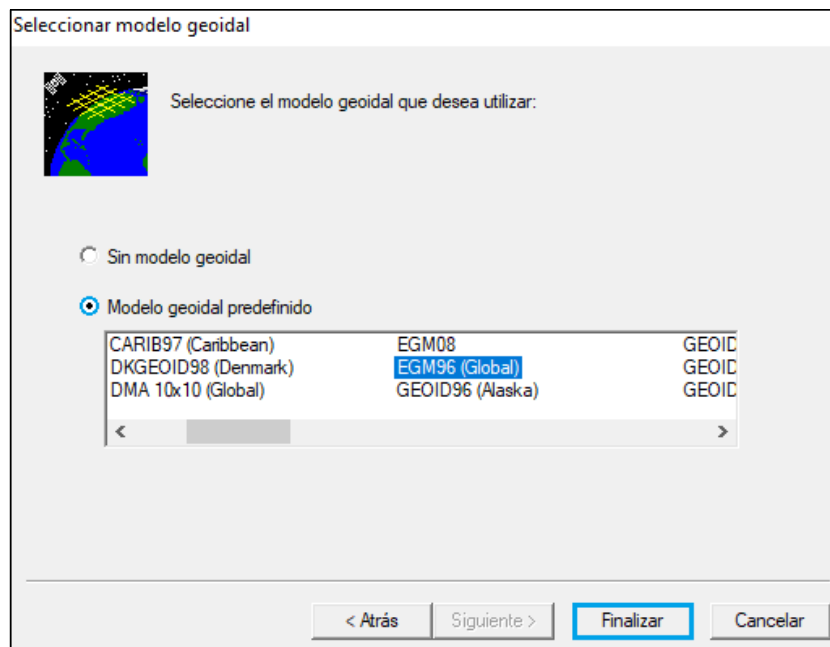
2. En la ventana “Seleccionar sistema de coordenadas”, habilitar la opción “Sistema de coordenadas y zona”, luego dar click en “Siguiente”.



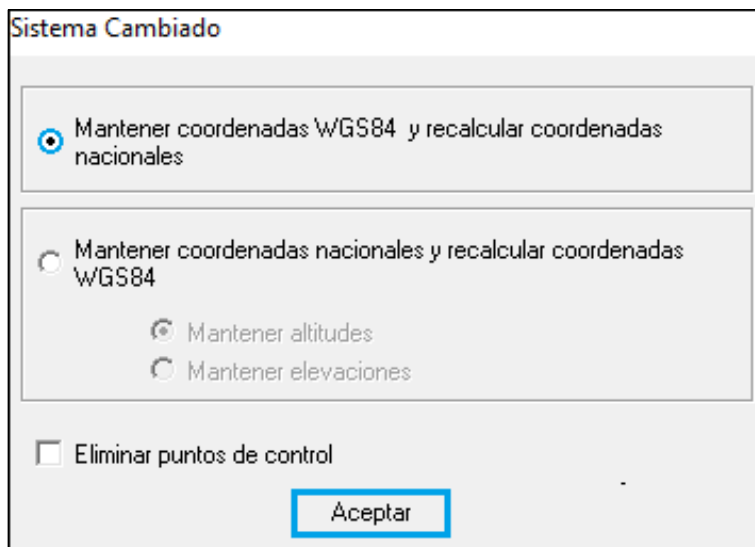
3. En la nueva ventana, definir el grupo de sistemas de coordenadas buscando la opción “EL SALVADOR LAMBERT SIRGAS-2007” y la zona “LAMBERT SIRGAS-ES2007”. Seleccionar “Siguiente”.



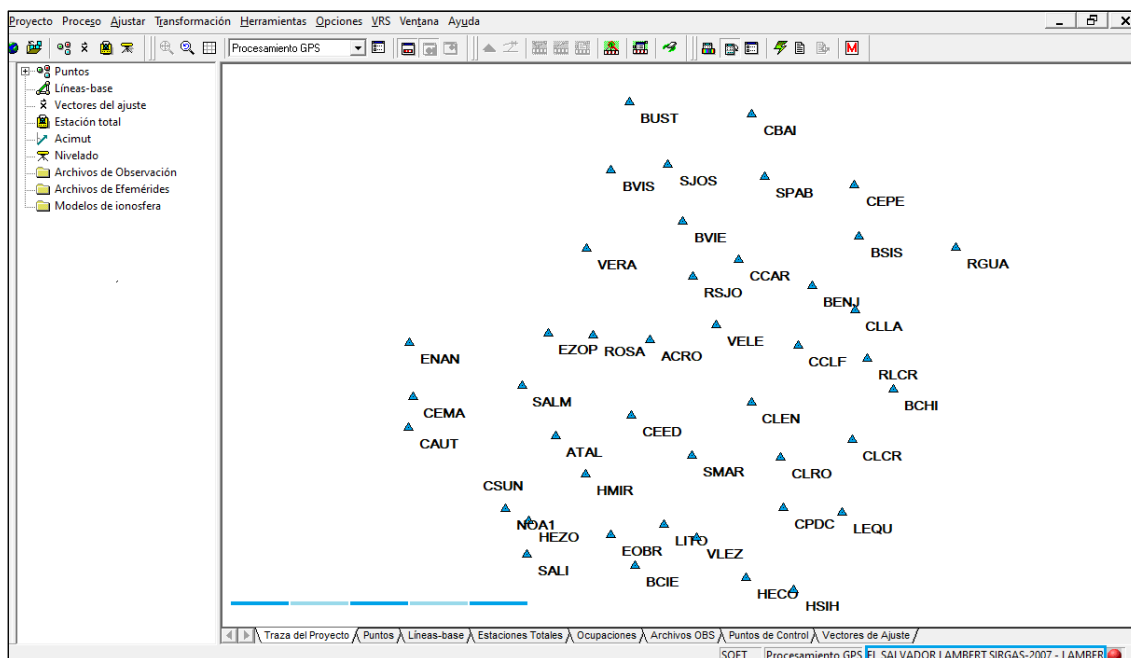
4. A continuación en la ventana “Seleccionar modelo geoidal”, habilitar la casilla “Modelo geoidal predefinido” y en la lista disponible elegir “EGM96 (Global)”, luego “Finalizar”.



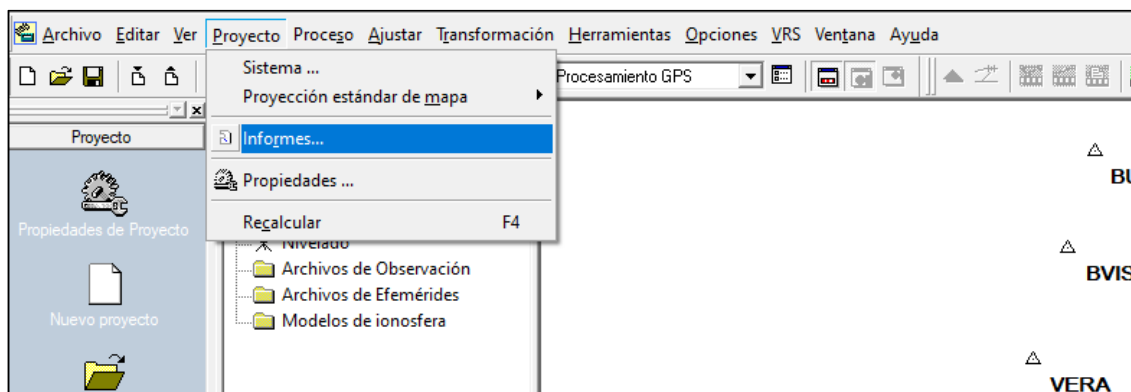
5. Seguidamente se muestra la ventana “Sistema cambiado”, en ésta habilitar la opción “Mantener las coordenadas WGS-84 y recalcular las coordenadas nacionales”, luego seleccionar “Aceptar”



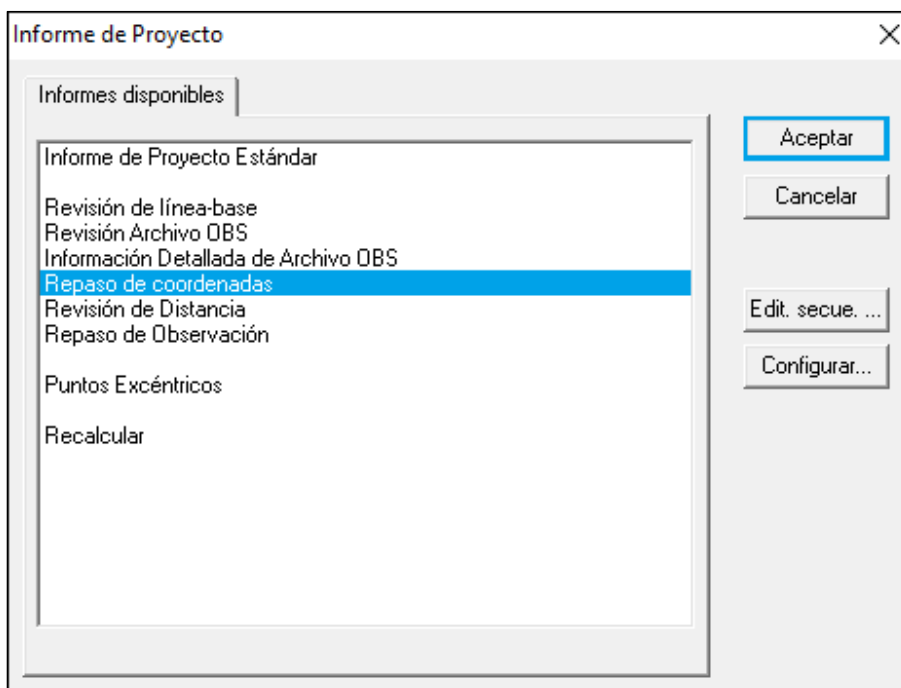
6. Para finalizar se puede observar en la parte inferior derecha del programa el cambio de sistema, de PROYECCION ESTANDAR DE MAPA a EL SALVADOR LAMBERT SIRGAS-ES2007.



7. Para revisar las coordenadas, Trimble Total Control permite generar varios tipos de informes, para su visualización se debe entrar en la barra de menú "Proyecto" y escoger la opción "Informes".



8. Aparecerá la ventana de “Informes disponibles”, en esta elegir la opción “Repaso de coordenadas”. Este informe proporciona el listado de coordenada generadas por TTC: Coordenadas Geográficas, Coordenadas Cartesianas y Coordenadas de la proyección. (ver anexo I).



Resultado de Coordenadas Planas Lambert SIRGAS-ES2007, época 2007.8

Nombre de Punto	Código	Norte (Y)	Este (X)	Elevación
Acrópolis	ACRO	287635.4260	421944.4395	215.8366 m
Atalayita	ATAL	279571.5398	414051.0383	95.1820 m
Beneficio Chilata	BCHI	283437.6620	442395.5906	660.6772 m
Barra Ciega	BCIE	268740.9628	420697.2777	10.9103 m
Benjamín I	BENJ	292160.9727	435621.2500	569.9027 m
Beneficio San Isidro	BSIS	296285.7178	439547.8693	752.7242 m
Bustamante	BUST	307491.9149	420239.4221	1406.6599 m
Barra Vieja	BVIE	297545.7876	424734.2382	654.6760 m
Buena Vista	BVIS	301810.1572	418690.6869	1025.5256 m
Cauta	CAUT	280259.9095	401712.6009	2.5231 m
Cantón Buenos Aires	CBAI	306495.1744	430551.9960	1648.9964 m
Cantón Chorro Arriba	CCAR	294344.7081	429458.3125	631.5517 m

Caserío Cerro Las Flores	CCLF	287117.6541	434455.7648	650.0651 m
Caserío El Edén	CEED	281238.1611	420372.7928	139.0853 m
Cantón El Maizal	CEMA	282796.3124	402093.2630	26.9420 m
Cerro Perico	CEPE	300568.5724	439165.6108	1080.2892 m
Cantón La Cruzona I	CLCR	279190.6566	438960.7009	660.7309 m
Cantón La Ensenada	CLEN	282365.1790	430497.7861	415.0235 m
Cooperativa Los Lagartos	CLLA	290118.7473	439189.1883	534.3994 m
Caserío Los Rosales	CLRO	277782.8818	432968.7902	333.6262 m
Cantón Paso de Canoa	CPDC	273525.8979	433183.2902	155.4101 m
Cantón Suncita	CSUN	278495.5672	408201.0833	14.8517 m
El Nance	ENAN	287414.7016	401786.4807	91.0236 m
El Obraje	EOBR	271274.6255	418684.0450	22.3300 m
El Zope II	EZOP	288171.4226	413434.1863	235.2576 m
Hacienda El Cojoyo	HECO	267684.6861	430105.0383	1.9493 m
Hacienda El Zope	HEZO	272457.1545	411803.5304	33.0451 m
Hacienda Miravalle	HMIR	276331.4017	416598.6808	92.2931 m
Hacienda Sihupilapa	HSIH	266656.1166	434055.4770	12.8486 m
Loma El Quebrachal	LEQU	273109.0881	438134.5855	469.6092 m
Litoral	LITO	272167.9114	423152.9306	20.5184 m
Noa1	NOA1	273492.4244	409880.9766	17.8304 m
Rancho Guaymoco	RGUA	295355.8658	447640.5827	526.7423 m
Rancho La Cruz	RLCR	286012.0518	440237.6100	586.8767 m
Rosa II	ROSA	288032.3625	417195.6886	271.1472 m
Rancho San Jorge	RSJO	292971.4422	425616.5890	470.7366 m
Salinitas	SALI	269660.8553	411611.0586	12.2997 m
Sálamo II	SALM	283808.6245	411237.4996	115.7117 m
San José	SJOS	302279.5194	423494.0637	1085.2856 m
Santa María	SMAR	277912.6010	425498.9965	174.7858 m
San Pablo	SPAB	301263.7910	431609.9254	1812.7293 m
Velesa	VELE	288836.3503	427579.8465	399.2416 m
Veracruz	VERA	295284.3527	416657.1539	671.9993 m
Vélez	VLEZ	271010.7535	425904.1766	3.0973 m

Tabla 6.5 *Coordenadas Planas Lambert SIRGAS-ES2007, época 2007.8*

Nota: Antes de proceder al cambio de sistema, de Coordenadas Cartesianas Geocéntricas a Coordenadas Planas Lambert SIRGAS-ES2007, se ha debido configurar el software Trimble Total Control con los parámetros correspondientes a dicha proyección (Ver anexo J).

6.2 Desplazamiento lineal de la Red de Sonsonate durante el periodo 2007-2020

Las coordenadas de la superficie terrestre varían en función del tiempo, debido a la influencia de las deformaciones de su corteza y los movimientos de las placas tectónicas. Ambos fenómenos afectan en forma diferente la posición de un punto, los cambios en la corteza terrestre por ejemplo, son muy irregulares y muy complicados de estimar, contrario al movimiento de placas, cuya variación es posible de predecir a través de modelos geofísicos y geodésicos.

En El Salvador, se estima que la posición de un vértice geodésico, a causa de estos movimientos, puede variar de 1 a 3 cm por año. Teniendo en cuenta estas variaciones se ha considerado importante conocer los desplazamientos sufridos por los vértices que componen la red en estudio durante el periodo 2007-2020. Para ello se ha tomado un total de 25 vértices geodésicos, los cuales se encontraron en buenas condiciones durante la etapa de reconocimiento de campo y no sufrieron cambio alguno para el proceso de mediciones GPS.

Las coordenadas pertenecientes a dichos vértices, tanto las correspondientes a 2007 como las del año 2020, resultante del procesamiento y ajuste de la red han sido comparadas para cuantificar los desplazamientos ocurridos durante ese periodo de tiempo (Tabla 6.6).

Tabla de desplazamiento de vértices geodésicos de la red de Sonsonate durante el periodo 2007-2020

Vértice	Año 2007		Año 2020		Δ (cm)
	Norte (m)	Este (m)	Norte (m)	Este (m)	
ATAL	279571.544	414051.023	279571.6199	414051.1139	11.84
BENJ	292160.931	435621.185	292161.0540	435621.3283	18.88
BSIS	296285.665	439547.798	296285.7990	439547.9476	20.08

BUST	307491.833	420239.409	307491.9924	420239.4952	18.12
BVIS	301810.116	418690.685	301810.2347	418690.7599	14.04
CAUT	280259.888	401712.607	280259.9879	401712.6752	12.10
CBAI	306495.183	430551.918	306495.2531	430552.0716	16.88
CCAR	294344.654	429458.277	294344.7882	429458.3895	17.51
CCLF	287117.619	434455.722	287117.7354	434455.8430	16.79
CLEN	282365.153	430497.750	282365.2603	430497.8643	15.68
CLRO	277782.856	432968.764	277782.9630	432968.8698	15.05
CPDC	273525.869	433183.268	273525.9792	433183.3697	15.00
CEPE	300568.527	439165.525	300568.6537	439165.6878	20.63
ENAN	287414.664	401786.489	287414.7788	401786.5538	13.18
EZOP	288171.399	413434.172	288171.5013	413434.2607	13.54
HECO	267684.686	430105.008	267684.7685	430105.1192	13.85
HMIR	276331.403	416598.658	276331.4817	416598.7578	12.71
HSIH	266656.116	434055.477	266656.1991	434055.5578	11.59
LEQU	273109.082	438134.545	273109.1706	438134.6663	15.02
NOA1	273492.425	409880.976	273492.5043	409881.0536	11.10
RGUA	295355.864	447640.511	295355.9473	447640.6623	17.27
ROSA	288032.337	417195.670	288032.4413	417195.7642	14.05
SALM	283808.602	411237.497	283808.7033	411237.5752	12.80
VELE	288836.311	427579.811	288836.4304	427579.9234	16.40
VERA	295284.317	416657.168	295284.4315	416657.2283	12.94

Tabla 6.6 Tabla de desplazamientos periodo 2007-2020

Como se puede apreciar, los resultados obtenidos del análisis de coordenadas indican que las estaciones geodésicas, han sufrido desplazamientos en un promedio de 15.02 cm en periodo de tiempo analizado, además la dirección promedio es de 45.68° Noreste (Figura 6.2)



Figura 6.2 Modelación de desplazamientos de los vértices de la red de Sonsonate.

Fuente: Propia

Respecto a las estaciones de referencia, se concluye que sus desplazamientos han sido similares, con dirección Noreste 46° y con un aumento en la distancia (25.12 Km) que los separa de 0.24 cm respecto de su estado anterior.

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

El desarrollo de este documento recopila todas las metodologías utilizadas en la actualización de la red geodésica del Departamento de Sonsonate, la cual se fundamenta en la necesidad de su vinculación a la Red Geodésica Nacional SIRGAS-ES2007.8. Estos procedimientos contienen actividades de campo como: reconocimiento, monumentación y mediciones GPS, y post procesamiento de datos que incluyen procesamiento y ajuste de la red geodésica utilizando el software Trimble Total Control y su respectiva vinculación a la época de referencia de la red SIRGAS-ES. En base a toda la información registrada y a las experiencias obtenidas a lo largo de su desarrollo se ha llegado a las conclusiones siguientes.

- En la etapa de verificación del estado físico de la red se observó el grado de deterioro al que estas se pueden ver expuestas debido a los efectos geodinámicos o desplazamientos de la corteza terrestre, daños y desapariciones como resultado de actividades humanas, entre otros, lo que reafirma la importancia de su actualización y mantenimiento con el objetivo de prolongar su fiabilidad y calidad a través de los años.
- Las observaciones GPS fueron realizadas utilizando la técnica de medición estática y equipos GPS diferenciales de doble frecuencia empleados en redes geodésicas, además, sirviéndose de las nuevas tecnologías se ha utilizado la aplicación móvil Trimble DL, la cual ha facilitado en gran medida la toma de

datos. Sin embargo, es importante hacer énfasis en el manejo de equipo medición y descarga de datos convencionales.

- En relación a los resultados obtenidos en el procesamiento y ajuste de la red geodésica, se determinaron errores tanto horizontal como vertical de 15.8 mm y 27.3 mm, por lo cual se consideran favorables, basados en su distribución en toda la red geodésica y el tamaño de esta.
- La vinculación de la red geodésica de Sonsonate a la Red Geodésica Nacional SIRGAS-ES200.8 incluye una serie de procedimientos como, cambios de época de estaciones de referencia a la época de observación y viceversa, cálculo de velocidades, utilización de coordenadas en diferentes sistemas, etc. Definiendo una nueva red geodésica, la cual se suma a los esfuerzos realizados por el Instituto Geográfico y de Catastro Nacional IGCN para proporcionar a los usuarios del sistema, una Red Geodésica Nacional moderna, precisa y confiable.
- Tomando en cuenta todos los factores que inciden en las posiciones de los vértices geodésicos que componen una red como son los terremotos, las deformaciones de la corteza terrestre que generan cambios muy complicados y discontinuos y los movimientos en las placas tectónicas que si bien pueden ser predecibles, permitiendo su modelación, igualmente generan variaciones, es de gran importancia realizar la vinculación respectiva al nuevo sistema SIRGAS-ES, el cual garantiza mejores precisiones.
- Al momento de realizar el procesamiento y ajuste de la red geodésica es importante que la persona encargada de dicha actividad cuente con toda la

información obtenida en campo y especificaciones técnicas sobre el procesamiento para el tipo de red del cual se trate. Además resulta muy conveniente por parte de la misma, tener una visión general del proyecto, a fin de entender el alcance de los resultados.

- Finalmente se determinó que el cambio de posición lineal debido al desplazamiento de la corteza terrestre que han sufrido cada una de las coordenadas de amarre, a partir de la época de referencia 2007 al presente año de las mediciones 2020 ha sido para NOA de 11.1 cm y para Hacienda Sihupilapa de 11.6 cm, ambas en dirección noreste NE.

7.2 Recomendaciones

- A las universidades del país, en especial a la Universidad de El Salvador, impulsar conocimientos en el área de Geodesia con el objetivo de crear una base sólida que garantice un mejor desempeño de los futuros profesionales que busquen una especialización y expandir los campos de estudio de la Ingeniería Civil.
- Considerando el avance rápido de las nuevas tecnologías es importante hacer énfasis en la actualización constante de los conocimientos relacionados a la geodesia espacial, la cual es esencial para la comprensión de la dinámica terrestre y sus fenómenos.
- A los compañeros, que al igual que nosotros se interesen en este tema, instarles a seguir contribuyendo con las nuevas generaciones, elaborando documentos que permitan compartir las metodologías implementadas en el mejoramiento de las redes geodésicas, la importancia de estas y en general todo el desarrollo que supone el estudio de la Geodesia en nuestro país a través de obras de Ingeniería Civil.

BIBLIOGRAFIA

Tesis

- Ayala, A. y Bardales, M. (2012). Aplicaciones y uso de la tecnología de GPS diferencial de doble frecuencia con precisión centimétrica en el área de levantamiento y replanteo topográfico georreferenciado, Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador.

- Funes, Martínez y Rivera (2017). Técnicas de medición topográficas con GPS de doble frecuencia y su procesamiento con el software Carlson Survey GNSS, Universidad de El Salvador, San Salvador, El Salvador.

- Guandique, López y Martínez (2014). Manual técnico para el levantamiento geodésico con GPS de una frecuencia aplicando el Sistema Global de Navegación (GNSS) utilizando un modelo geoidal y su análisis comparativo con levantamiento topográfico con estación total, Universidad de El Salvador, San Miguel, El Salvador.

- Herrera Mérida (2012). Establecimiento de una red local en la zona de Tacurú Pucú (Presa de Itaipu-Paraguay), Universidad Politécnica de Madrid.

Documentos técnicos

- Figueroa, Amaya y Sánchez (2010). Integración de la Red Geodésica Básica Nacional de El Salvador a SIRGAS (SIRGAS-ES2007), San Salvador, El Salvador.

Páginas webs

- https://kupdf.net/download/manual-del-software-para-postproceso-trimble-total-control_59684097dc0d605672a88e7a_pdf
- http://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Boletines/Bol09/09_Amaya_ElSalvador.pdf
- <http://sopac-old.ucsd.edu/convertDate.shtml#Date%20converter>
- http://sie.energia.gob.mx/docs/glosario_geo_es.pdf

ANEXOS

ANEXO A
Bitácora de Campo

Martes 18 de febrero de 2020

JEFE DE BRIGADA: José Alberto Ascencio Bolaños
 AUXILIARES: José Antonio Argueta
 Antonio Mario Jacobo

PLACA DE VEHÍCULO N 9 416
 HORA DE SALIDA 7:33 a.m.

VÉRTICE GEODÉSICO CAUTA
 DEPARTAMENTO Sonsonate
 MUNICIPIO Acajutla
 ETAPA Reconocimiento

COORDENADAS GEOGRÁFICAS DE NAVEGACIÓN

VÉRTICE	13°38' 31.4" N	89° 54'30.2" W
AZIMUT	13°38' 33.5" N	89° 54'32.4" W

Para llegar al vértice geodésico CAUTA se tomó como punto de partida el Municipio de San Antonio del Monte, a partir de ahí nos dirigimos hacia Sonsonate, continuando el recorrido por carretera a Acajutla (CA12S) hasta desvío KILO 5, tomamos Carretera del Litoral (oeste) hasta al kilómetro 98 (por Tienda Estelita), luego se giró a la izquierda en calle polvosa 1.4 Km, desde ahí, avanzamos a la derecha por calle polvosa 300 m aproximadamente hasta un terreno baldío donde se encuentra la estación CAUTA y su MKZ.

El vértice consiste en un mojón de concreto con base superficial y perno de acero, además de tener referencias naturales. La situación en la que se encontró es buena y está apto para mediciones GPS.

El cuadro de referencias para el vértice geodésico CAUTA se presenta a continuación:

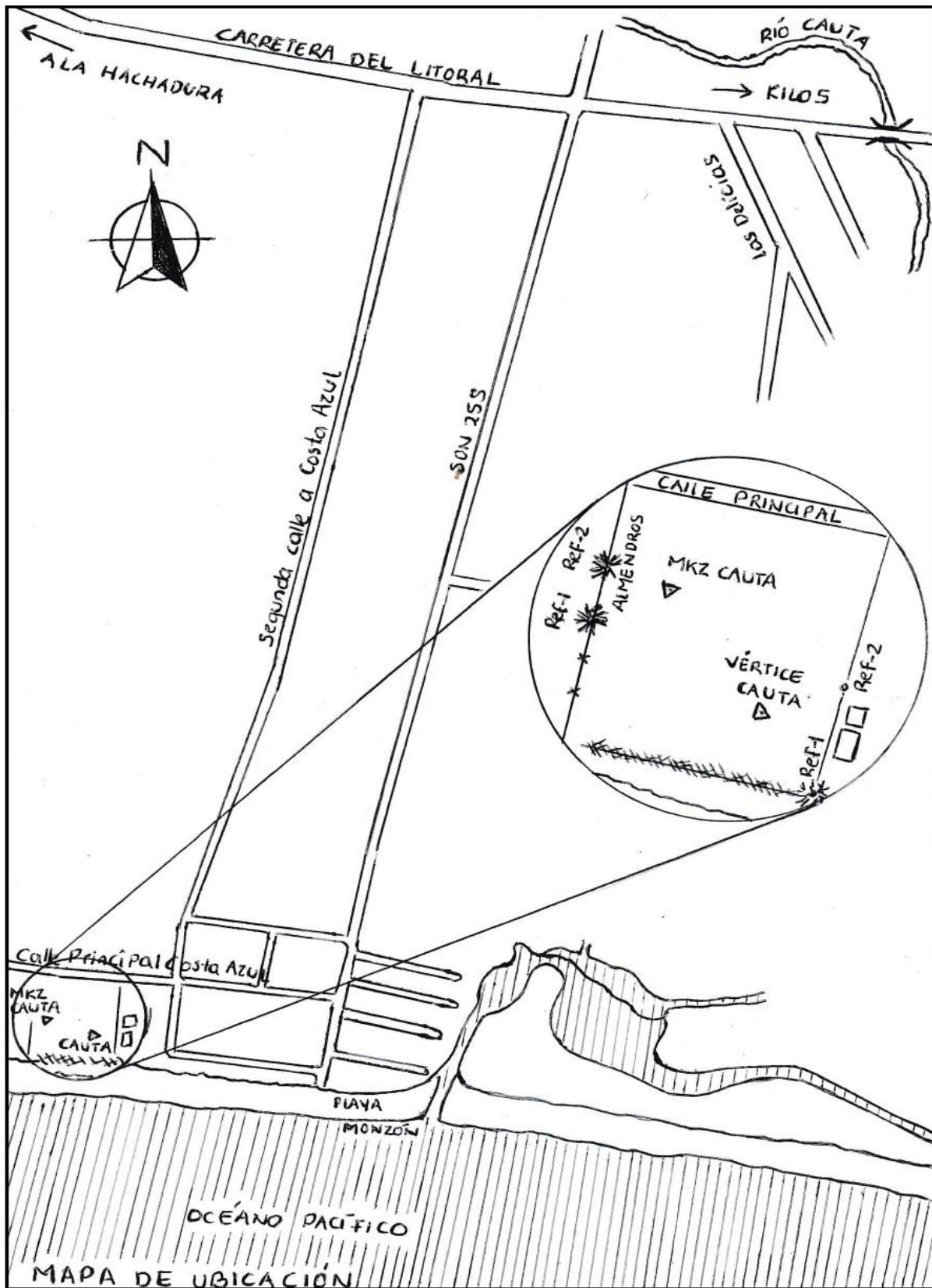
Referencias	Distancia (m)	Azimut	Tipo de referencia
Ref. 1	27.78	295°	Normal a pared
Ref. 2	33.76	330°	Esquina de muro

Los azimut fueron tomados desde la referencia hacia el vértice

La marca de azimut se encuentra a 310° del vértice y consiste en un mojón de concreto con perno de acero, se encuentra en buenas condiciones y en cuanto a sus referencias, estas ya no se encuentran en el lugar, por lo que fue necesario asignarle nuevas marcas, las cuales se definen en la tabla siguiente.

Referencias	Distancia (m)	Azimut	Tipo de referencia
Ref. 1	26.45	85°	Árbol de Almendro
Ref. 2	23.21	150°	Árbol de Almendro

Nota: como dato importante para la descripción se tomó el kilometraje desde la pasarela de Metalío a desvío el cual resultó ser de 1.9 km.



HORA	9:55 a.m.	
VÉRTICE GEODÉSICO	LA ISLA	
DEPARTAMENTO	Sonsonate	
MUNICIPIO	Acajutla	
ETAPA	Reconocimiento	
COORDENADAS GEOGRÁFICAS DE NAVEGACIÓN		
VÉRTICE	13°39' 26.2"N	89° 53'57.4"W
AZIMUT	13°39' 30.0"N	89° 54'00.2"W

Para llegar al vértice geodésico LA ISLA, retornamos hacia la carretera del Litoral que conduce a Cara Sucia, aproximadamente 600 m hasta el casco de la hacienda La Isla, propiedad del señor Roberto Acevedo, tomando el desvío a la derecha 150 m para ingresar a la propiedad, el vértice se encuentra en una pequeña loma dedicada a la plantación de teca, y consiste en un mojón de concreto en forma de pirámide cuadrangular truncada y perno de acero, además de tener referencias que constan de pines incrustados en mojonos de concreto de menor tamaño. La situación en la que se encontró el vértice, al igual que las referencias es buena, sin embargo no está apto para la realización de mediciones GPS debido a la plantación existente.

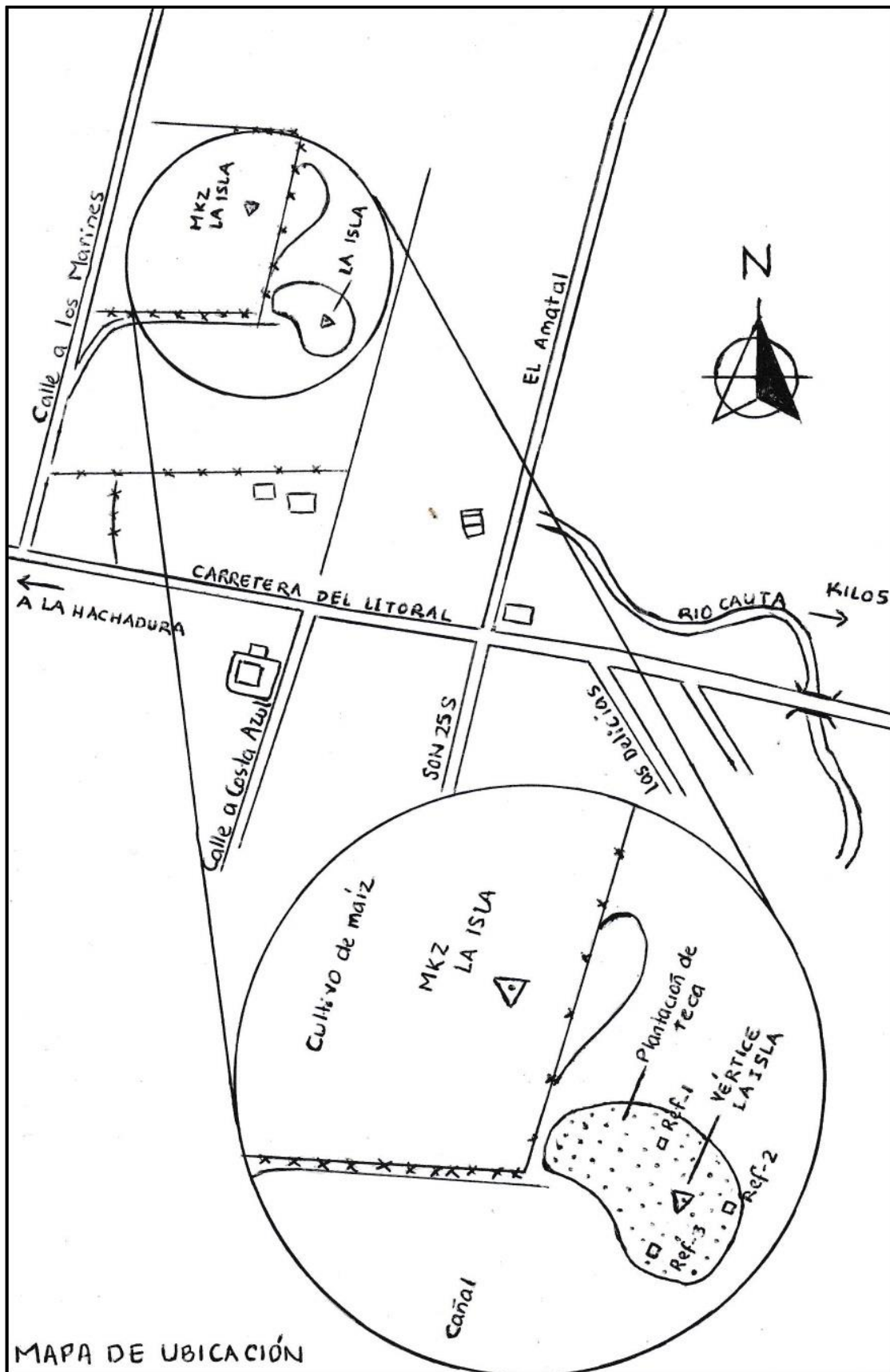
El cuadro de referencias para el vértice geodésico LA ISLA se detalla a continuación:

Referencias	Distancia (m)	Azimut	Tipo de referencia
Ref. 1	9.58	180°	Pin en mojón
Ref. 2	12.00	300°	Pin en mojón
Ref. 3	10.98	60°	Pin en mojón

Los azimut fueron tomados desde la referencia hacia el vértice

La marca de azimut se encuentra a 323° desde vértice, en la misma propiedad, pero al otro lado de un cerco (terreno destinado al cultivo de maíz) y consiste en un mojón de concreto con pin de acero, se encuentra en buenas condiciones y apto para mediciones GPS, no posee referencias.

Nota: es necesario monumentar el vértice geodésico en otra zona debido a que el propietario se niega a que este permanezca en su terreno. Por lo que se buscó en la zona un lugar adecuado para el nuevo vértice (a 2 km aproximadamente del vértice actual), se consultó a los residentes del lugar, tomando registro de las coordenadas de navegación, las cuales son: $13^{\circ} 39' 57.2''$ N, $89^{\circ} 54' 20.9''$ W, además será necesario proporcionarle una nota a los propietarios para solicitar su permiso de manera formal.



Martes 25 de febrero de 2020

JEFE DE BRIGADA: José Alberto Ascencio Bolaños
 AUXILIARES: José Antonio Argueta
 Antonio Mario Jacobo
 Roque Machado

PLACA DE VEHÍCULO N 16 624
 HORA DE SALIDA 7:10 a.m.

VÉRTICE GEODÉSICO RANCHO SAN JORGE
 DEPARTAMENTO Sonsonate
 MUNICIPIO Izalco
 ETAPA Monumentación

COORDENADAS GEOGRÁFICAS DE NAVEGACIÓN

VÉRTICE	13°45' 27.6"N	89° 41' 16.3"W
AZIMUT	13°45' 26.2"N	89° 41' 18.4"W

Partimos desde el Municipio de San Antonio del Monte hacia Sonsonate, continuando el recorrido hasta el Redondel Monseñor Oscar Arnulfo Romero, Sonzacate y luego por carretera CA12S que conduce a Santa Ana, hasta el desvío del Penal de Izalco (derecha), de ahí se avanzó en calle polvosa, pasando por el puente sobre Rio Ceniza, hasta la pluma de acceso al penal, en donde debimos identificarnos y continuar hasta Rancho San Jorge en el Cantón Tapalshucut, cuyo actual propietario es el Sr. Fredy Campos Villatoro. Al llegar al Rancho ingresamos a la izquierda por calle polvosa 400 m aproximadamente y luego a la derecha pasando por el casco del rancho, en donde se le notificó a la persona encargada del lugar el motivo de nuestra visita. A poco más de 100 m del casco se puede visualizar la loma (dedicada al cultivo de maíz), en donde se situaría el vértice geodésico RANCHO SAN JORGE y su MKZ.

Al llegar al lugar en donde estaría el vértice (definido en la etapa previa de Reconocimiento), se procedió a determinar el sitio más adecuado para la permanencia de este y su MKZ, tomando en cuenta la distancia que habría entre estos y las referencias que se le asignarían.

Se logró ingresar con el vehículo hasta el sitio y se comenzó el proceso de monumentación del vértice siguiendo las etapas siguientes:

1. Preparación

Materiales: arena, cemento, acero de refuerzo, alambre de amarre y agua

Herramientas: palas, nivel de burbuja, molde metálico para vértice y de madera para pedestal, matillo de uña, cucharas de albañil, etc.

2. Se preparó la superficie retirando toda la vegetación y la basura presente en el sitio, y al mismo tiempo se preparó la armadura de hierro (castillo) de aproximadamente 75 cm de alto, utilizando barras de acero corrugado y alambre de amarre.
3. Se preparó el mortero (mezcla), sobre una superficie limpia revolviendo en seco la arena y el cemento y luego agregando agua con una dosificación adecuada.
4. Para la fundación se excavó un agujero de 60 cm aproximadamente, se humedeció la superficie para una mejor adherencia entre la mezcla y la superficie, y se procedió a la construcción del vértice.
5. De igual manera se procedió a la construcción de su MKZ.

El vértice geodésico “RANCHO SAN JORGE” consiste en un mojón de concreto en forma de pirámide truncada y base superficial, con perno de acero, además posee tres referencias que son pernos de menor tamaño incrustados en rocas.

El cuadro de referencias para el vértice geodésico RANCHO SAN JORGE se presenta a continuación:

Referencias	Distancia (m)	Azimut	Tipo de referencia
Ref. 1	03.92	277°	Perno en roca
Ref. 2	04.31	090°	Perno en roca
Ref. 3	03.21	159°	Perno en roca

Los azimut fueron tomados desde la referencia hacia el vértice

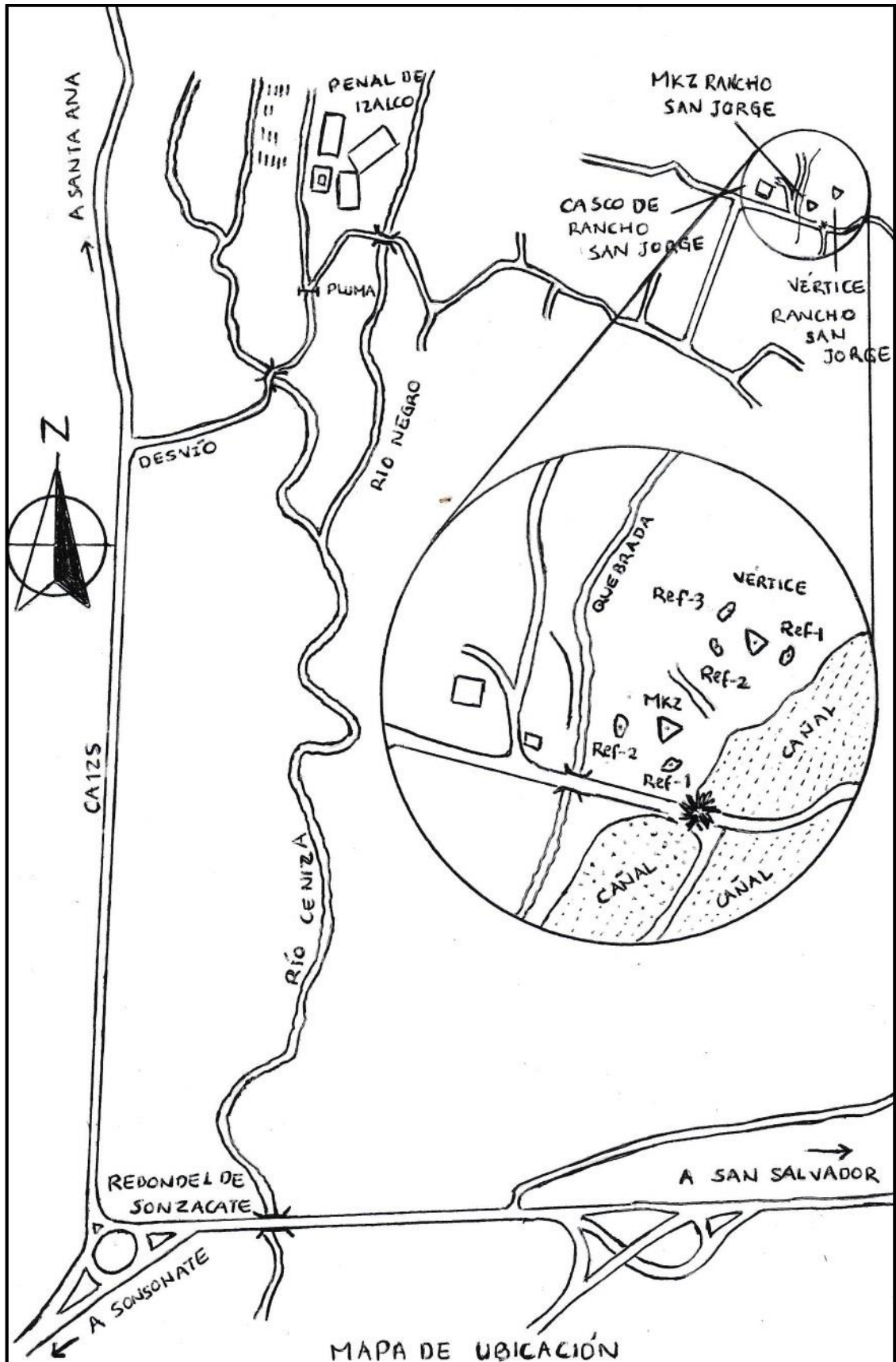
La marca de azimut se encuentra a 237° del vértice y consiste en un mojón de concreto con perno de acero, de igual tamaño que el vértice, pero sin base superficial. Sus referencias se definen en la tabla siguiente.

Referencias	Distancia (m)	Azimut	Tipo de referencia
Ref. 1	10.54	004°	Roca
Ref. 2	16.58	100°	Roca

Los azimut fueron tomados desde la referencia hacia el vértice

Nota: como datos importantes para la descripción se tomaron datos del kilometraje respectivo para cada tramo del recorrido, a partir del Redondel Monseñor Oscar Arnulfo Romero, Sonzacate hasta el lugar del vértice, los cuales se especifican a continuación:

- 1.4 Km desde Redondel de Sonzacate hasta desvío en calle que conduce al Penal de Izalco
- 800 m desde desvío hasta Pluma de acceso a Penal de Izalco, o Centro Escolar Caserío Cega
- 1.3 km desde Pluma de acceso a Penal de Izalco hasta entrada de Rancho San Jorge
- 400 m desde entrada de Rancho San Jorge hasta segundo desvío (calle en T)
- 300 m sobre el segundo desvío (a la derecha) hasta una pequeña loma en donde se encuentra el vértice geodésico y su MKZ.



MAPA DE UBICACIÓN

ANEXO B

Descripción Técnica

INFORME TECNICO
 DESCRIPCION DE VERTICES GEODESICOS

PROYECTO: Red Geodésica Departamento de Sonsonate
 NOMBRE DEL VERTICE: Santa María ID: SMAR DEPARTAMENTO: Sonsonate
 NOMBRE DE MARCA DE AZIMUT: MKZ Santa María ID: MSMA MUNICIPIO: Sonsonate
 CLASE DE MARCA: Mojón de concreto con perno de hierro FECHA: Marzo de 2020

DESCRIPCION: El vértice geodésico "Santa María" se encuentra ubicado en la cima de la loma conocida en la zona como El Potrerón, propiedad de la Asociación Cooperativa de la Reforma Agraria Santa María Coquiama, Cantón Chiquihuat. Para llegar al vértice, en Carretera del Litoral en el tramo que del desvío La Nueva conduce hacia Mizata, tome como punto de partida el puente sobre Río Mandinga, a la izquierda notará un desvío (calle de tierra) entre y recorra 7 kilómetros + 500 metros hasta llegar a calle (derecha) del caserío de la asociación antes mencionada, entre y recorra 800 metros, pasando por una talanquera, luego cruce a la izquierda por calle en mal estado y recorra 900 metros pasando frente a una pila en ruinas hasta llegar a la falda de dicha loma, luego camine unos 5 minutos hacia la loma y llegará al vértice. Este consiste en un mojón de concreto, con forma piramidal truncada con perno de hierro y base superficial, su marca de azimuth se encuentra en la misma loma, antes del vértice, al sur-Oeste y consiste en un mojón parecido al vértice, pero sin base superficial, con un azimuth tomado de vértice a MKZ de 254°.

DESCRITA O RECUPERADA POR: José Alberto Ascencio Bolaños

PERSONAL QUE RECONOCIO: José Ascencio - Antonio Argueta - Mario Jacobo

DESCRIPCION GRAFICA

NOMBRE DEL VERTICE: SANTA MARÍA

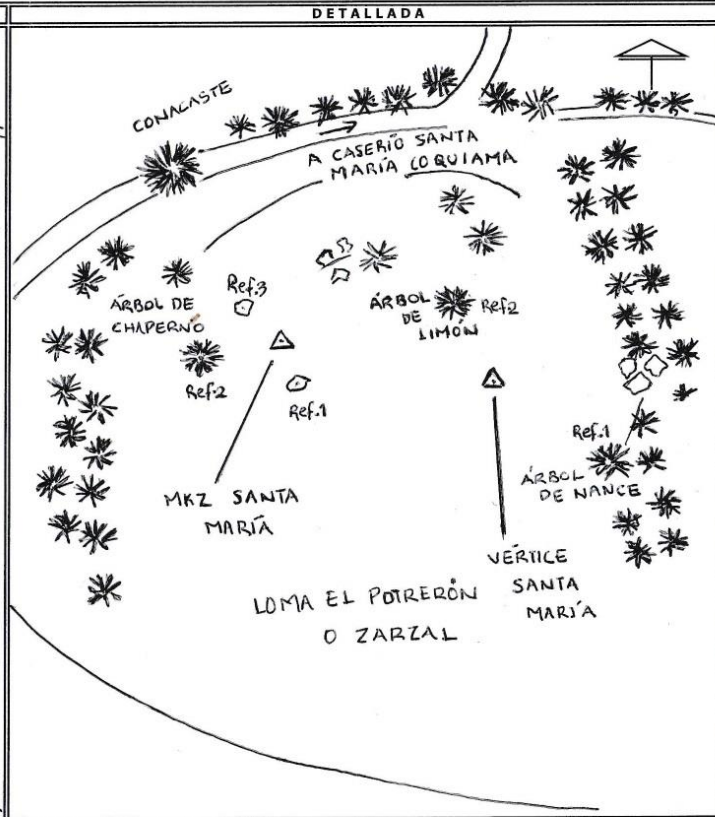
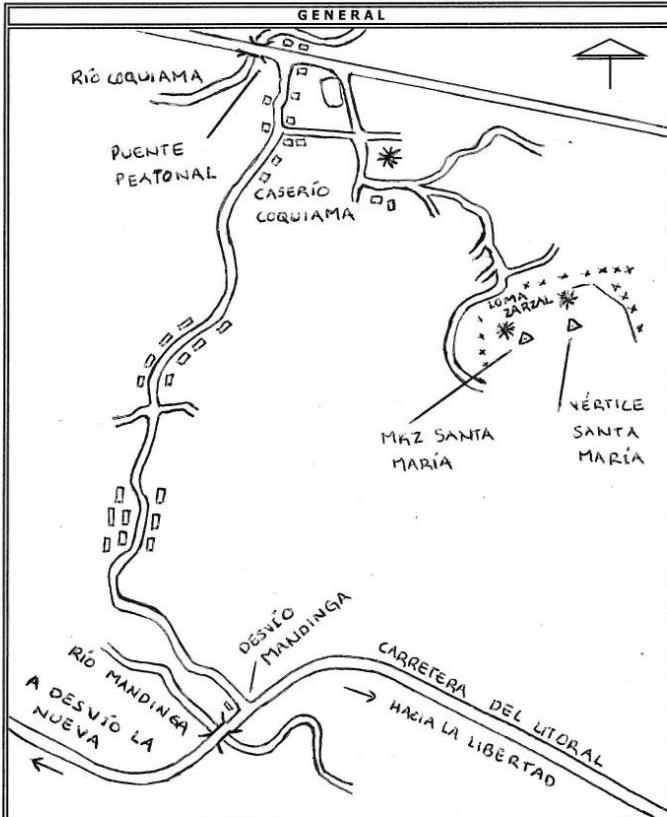
CUADRO DE REFERENCIAS: AZIMUT TOMADO DESDE REFERENCIA A VERTICE

Nº REF.	DISTANCIA (Mts.)	AZIMUT	DETALLE
1	26.85	282°	ÁRBOL DE NANCE
2	18.40	118°	ÁRBOL DE LIMÓN

NOMBRE DE MARCA DE AZIMUT: MKZ SANTA MARÍA

CUADRO DE REFERENCIAS: AZIMUT TOMADO DESDE REFERENCIA A MKZ

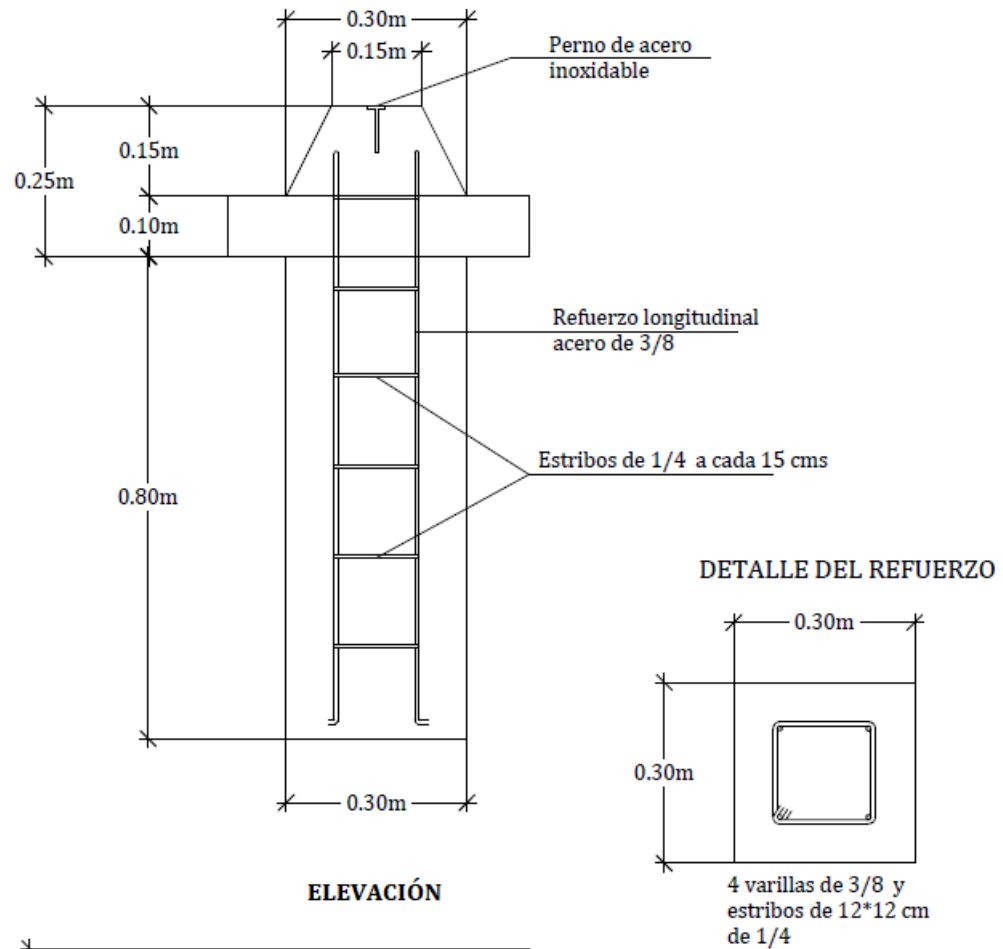
Nº REF.	DISTANCIA (Mts.)	AZIMUT	DETALLE
1	14.20	295°	ROCA
2	21.85	059°	ÁRBOL DE CHAPERNO
3	15.45	147°	ROCA



ANEXO C

Diseño de Vértice Geodésico

DISEÑO DE VÉRTICE GEODÉSICO



ELEVACIÓN

DETALLE DEL REFUERZO

PLANTA


Fuente: IGCN


ANEXO D

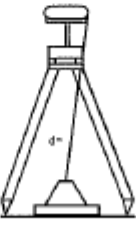
Hojas de campo: Formularios para
levantamientos estáticos GPS.

FORMULARIO PARA LEVANTAMIENTOS ESTATICOS GPS	
Proyecto: Red Geodesica Dpto de Sonsonate	
Departamento: Sonsonate	Cantón / Caserio:
Municipio: Caluco	Fecha: 29 de septiembre de 2020
Tecnico responsable de la medición G.P.S.: Erick Alvarenga	

PARAMETROS DE MEDICION	Día Juliano	Int. Grabación:	15"	Mínimo Satélites:	4
	273	Elev. de Máscara:	10°	Equipo GPS:	TRIMBLE R-8

DATOS	SESION A	ANTENA TRIMBLE
NOMBRE DE ESTACION	CASERIO CERRO DE LAS FLORES	 Altura Inclínada = 1.548 mts. Altura Vertical = <input type="text"/>
Identificación GPS	CCLF	
Día Juliano	273	
Latitud (N)	13° 42' 18.0"	
Longitud (W)	89° 36' 21.4"	
Elevación Elipsoidal	660	
PDOP	1.2	
Satélites Observados	15	
Hora de Inicio:	09:00	
Hora de Finalización:	11:00	

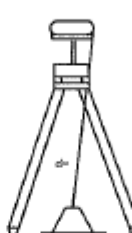
DATOS	SESION B	ANTENA TRIMBLE
NOMBRE DE ESTACION	MKZ CASERIO CERRO DE LAS FLORES	 Altura Inclínada = 1.780 mts. Altura Vertical = <input type="text"/>
Identificación GPS	MCCL	
Día Juliano	273	
Latitud (N)	13° 42' 20.0"	
Longitud (W)	89° 36' 20.6"	
Elevación Elipsoidal	655	
PDOP	1.5	
Satélites Observados	13	
Hora de Inicio:	11:15	
Hora de Finalización:	13:15	

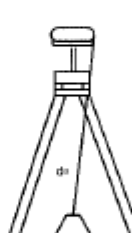
DATOS	SESION C	ANTENA TRIMBLE
NOMBRE DE ESTACION		 Altura Inclínada = <input type="text"/> Altura Vertical = <input type="text"/>
Identificación GPS		
Día Juliano		
Latitud (N)		
Longitud (W)		
Elevación Elipsoidal		
PDOP		
Satélites Observados		
Hora de Inicio:		
Hora de Finalización:		


OBSERVACIONES:

FORMULARIO PARA LEVANTAMIENTOS ESTATICOS GPS	
Proyecto: Red Geodesica Dpto de Sonsonate	
Departamento: Sonsonate	Cantón / Caserío:
Municipio: Santa Isabel Ishuatán.	Fecha: 30 de septiembre de 2020
Tecnico responsable de la medición G.P.S.: Erick Alvarenga	

PARAMETROS DE MEDICION	Día Juliano	Int. Grabación:	15"	Mínimo Satélites:	4
		274	Elev. de Máscara:	10°	Equipo GPS:

DATOS	SESION A	ANTENA TRIMBLE
NOMBRE DE ESTACION	CANTON LA CRUZONA	 <p>Altura Inclinada = 1.549 mts.</p> <p>Altura Vertical = <input type="text"/></p>
Identificación GPS	CLCR	
Día Juliano	274	
Latitud (N)	13° 38' 00.48"	
Longitud (W)	89° 33' 50.99"	
Elevación Elipsoidal	667	
PDOP	1.4	
Satélites Observados	14	
Hora de Inicio:	09:00	
Hora de Finalización:	11:00	

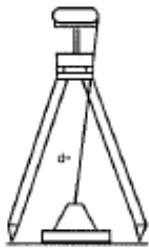

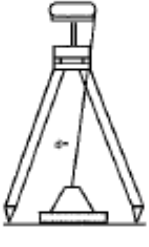
DATOS	SESION B	ANTENA TRIMBLE
NOMBRE DE ESTACION	CANTON LA CRUZONA	 <p>Altura Inclinada = 1.549 mts.</p> <p>Altura Vertical = <input type="text"/></p>
Identificación GPS	CLCR	
Día Juliano	274	
Latitud (N)	13° 38' 00.48"	
Longitud (W)	89° 33' 50.99"	
Elevación Elipsoidal	667	
PDOP	1.4	
Satélites Observados	14	
Hora de Inicio:	11:15	
Hora de Finalización:	11:55	

DATOS	SESION C	ANTENA TRIMBLE
NOMBRE DE ESTACION		 <p>Altura Inclinada = <input type="text"/></p> <p>Altura Vertical = <input type="text"/></p>
Identificación GPS		
Día Juliano		
Latitud (N)		
Longitud (W)		
Elevación Elipsoidal		
PDOP		
Satélites Observados		
Hora de Inicio:		
Hora de Finalización:		

OBSERVACIONES: SESION B SUSPENDIDA POR LLUVIA EN LA ZONA

FORMULARIO PARA LEVANTAMIENTOS ESTÁTICOS GPS	
Proyecto: Red Geodésica Dpto de Sonsonate	
Departamento: Sonsonate	Cantón / Caserío:
Municipio: Sonsonate.	Fecha: 01 de octubre de 2020
Técnico responsable de la medición G.P.S.: Erick Alvarenga	

PARAMETROS DE MEDICION	Día Juliano	Int. Grabación:	15"	Mínimo Satélites:	4
	275	Elev. de Máscara:	10°	Equipo GPS:	TRIMBLE R-8

DATOS	SESION A	ANTENA TRIMBLE
NOMBRE DE ESTACION	ACROPOLIS	 <p>Altura Inclizada = 1.843 mts.</p> <p>Altura Vertical = <input type="text"/></p>
Identificación GPS	ACRO	
Día Juliano	275	
Latitud (N)	13° 42' 33.8"	
Longitud (W)	89° 43' 17.7"	
Elevación Elipsoidal	230	
PDOP	1.9	
Satélites Observados	12	
Hora de Inicio:	08:00	
Hora de Finalización:	10:00	
DATOS	SESION B	ANTENA TRIMBLE
NOMBRE DE ESTACION	MKZ ACROPOLIS	 <p>Altura Inclizada = 1.932 mts.</p> <p>Altura Vertical = <input type="text"/></p>
Identificación GPS	MACR	
Día Juliano	275	
Latitud (N)	13° 42' 34.0"	
Longitud (W)	89° 43' 14.9"	
Elevación Elipsoidal	231	
PDOP	1.3	
Satélites Observados	16	
Hora de Inicio:	10:30	
Hora de Finalización:	12:20	
DATOS	SESION C	ANTENA TRIMBLE
NOMBRE DE ESTACION		 <p>Altura Inclizada = <input type="text"/></p> <p>Altura Vertical = <input type="text"/></p>
Identificación GPS		
Día Juliano		
Latitud (N)		
Longitud (W)		
Elevación Elipsoidal		
PDOP		
Satélites Observados		
Hora de Inicio:		
Hora de Finalización:		

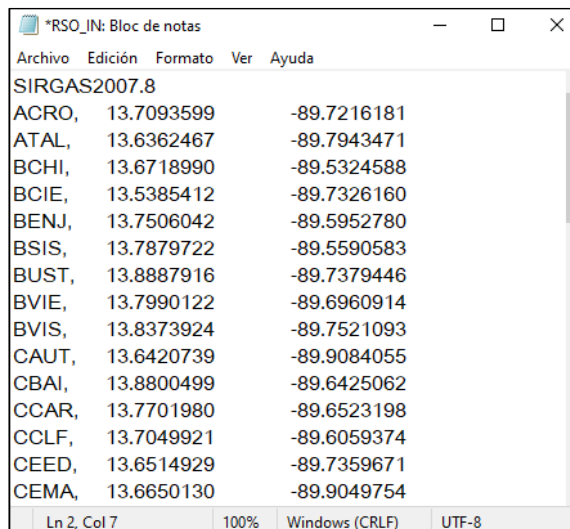
OBSERVACIONES:

ANEXO E

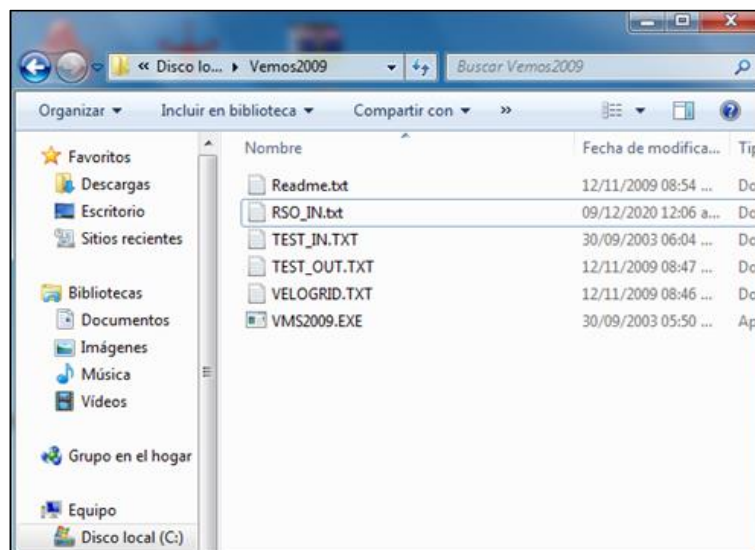
Cálculo de Velocidades para Estaciones de
Referencia

CÁLCULO DE VELOCIDADES PARA ESTACIONES DE REFERENCIA

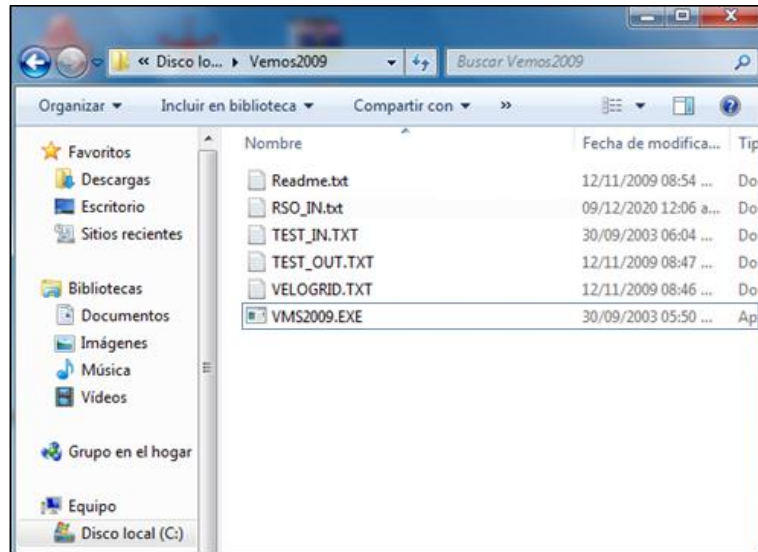
1. El primer paso para determinar velocidades, es la creación de un archivo de entrada en Bloc de notas cuyo formato debe estar en décimas de grado, tal como se muestra en la imagen. Para este caso se tiene **RSO_IN.txt**.



2. Este archivo de entrada debe ser guardado en la carpeta del programa a utilizarse (**VEMOS2009**), el cual a su vez deberá encontrarse en la unidad de disco local del computador.

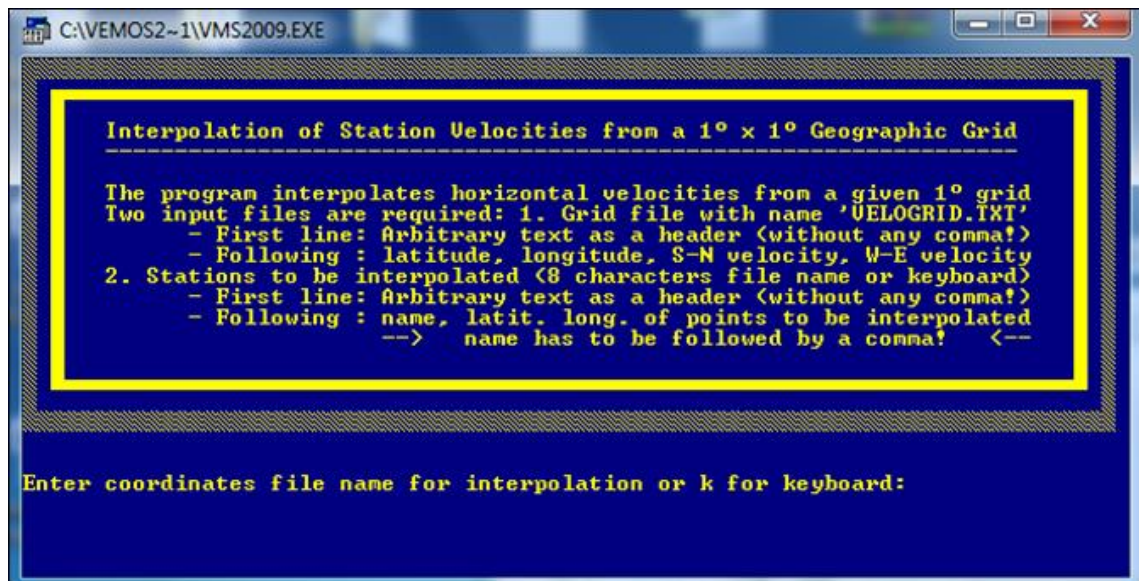


3. Abrir el archivo ejecutable del programa, VMS2009.EXE



NOTA: VEMOS2009 es un software ejecutable únicamente en procesadores de 32 bits.

4. En la interfaz del programa se leen las instrucciones correspondientes



5. Primero, ingresar el nombre del archivo de entrada, cuyo formato se muestra en el paso 1. Luego dar “Enter”

```

C:\VEMOS2-1\VMS2009.EXE

Interpolation of Station Velocities from a 1° x 1° Geographic Grid
-----
The program interpolates horizontal velocities from a given 1° grid
Two input files are required: 1. Grid file with name 'UELOGRID.TXT'
  - First line: Arbitrary text as a header (without any comma!)
  - Following : latitude, longitude, S-N velocity, W-E velocity
2. Stations to be interpolated (8 characters file name or keyboard)
  - First line: Arbitrary text as a header (without any comma!)
  - Following : name, latit. long. of points to be interpolated
                --> name has to be followed by a comma! <--

Enter coordinates file name for interpolation or k for keyboard: RSO_IN.TXT

```

6. Luego se procede a nombrar el archivo de salida con su respectiva extensión, para este caso el archivo generado será **RSO_OUT.TXT**. luego dar **“Enter”**

```

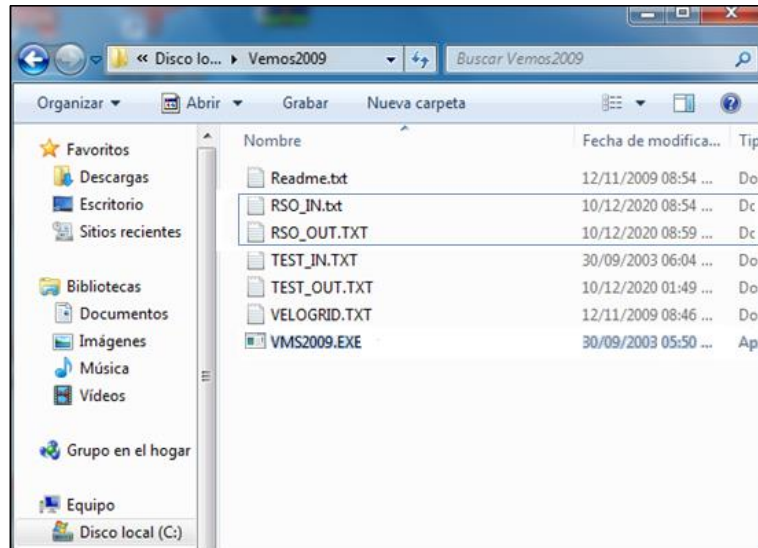
C:\VEMOS2-1\VMS2009.EXE

Interpolation of Station Velocities from a 1° x 1° Geographic Grid
-----
The program interpolates horizontal velocities from a given 1° grid
Two input files are required: 1. Grid file with name 'UELOGRID.TXT'
  - First line: Arbitrary text as a header (without any comma!)
  - Following : latitude, longitude, S-N velocity, W-E velocity
2. Stations to be interpolated (8 characters file name or keyboard)
  - First line: Arbitrary text as a header (without any comma!)
  - Following : name, latit. long. of points to be interpolated
                --> name has to be followed by a comma! <--

Enter coordinates file name for interpolation or k for keyboard: RSO_IN.TXT
Enter file name for output of the interpolated point velocities: RSO_OUT.TXT_

```

7. Una vez que el programa se cierra de forma automática, se debe revisar la carpeta del programa en donde se ha creado el archivo de salida.



8. El archivo de salida tiene formato que se muestra en la siguiente imagen y contiene los valores de velocidades requeridas.

*RSO_OUT: Bloc de notas

Archivo Edición Formato Ver Ayuda

Interpolated Station Velocities From 1 Degree * 1 Degree Velocity Field Grid

Geographic v(Lat), v(Long) and geocentric v(X), v(Y), v(Z) velocities [m/a]

SIRGAS2007.8

Interpolated from VEMOS2009 in ITRF2005 (Drewes and Heidbach 2009)

Station	Latitude	Longitude	v(Lat)	v(Long)	v(X)	v(Y)	v(Z)	no
ACRO	13.709	-89.722	0.0061	0.0058	0.0058	0.0015	0.0060	3
ATAL	13.636	-89.794	0.0061	0.0059	0.0058	0.0015	0.0060	3
BCHI	13.672	-89.532	0.0063	0.0061	0.0061	0.0015	0.0062	3
BCIE	13.539	-89.733	0.0063	0.0061	0.0061	0.0015	0.0061	3
BENJ	13.751	-89.595	0.0062	0.0060	0.0060	0.0015	0.0061	3
BSIS	13.788	-89.559	0.0063	0.0060	0.0060	0.0015	0.0061	3
BUST	13.889	-89.738	0.0060	0.0056	0.0056	0.0015	0.0058	3
BVIE	13.799	-89.696	0.0061	0.0058	0.0058	0.0015	0.0059	3
BVIS	13.837	-89.752	0.0060	0.0056	0.0056	0.0015	0.0058	3
CAUT	13.642	-89.908	0.0061	0.0057	0.0057	0.0014	0.0059	3
CBAI	13.880	-89.643	0.0061	0.0058	0.0058	0.0015	0.0059	3

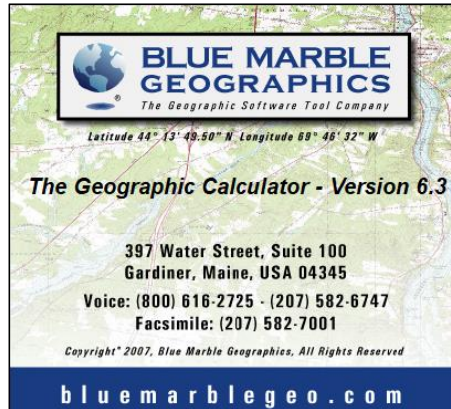
Ln 9, Col 109 100% Windows (CRLF) UTF-8

ANEXO F

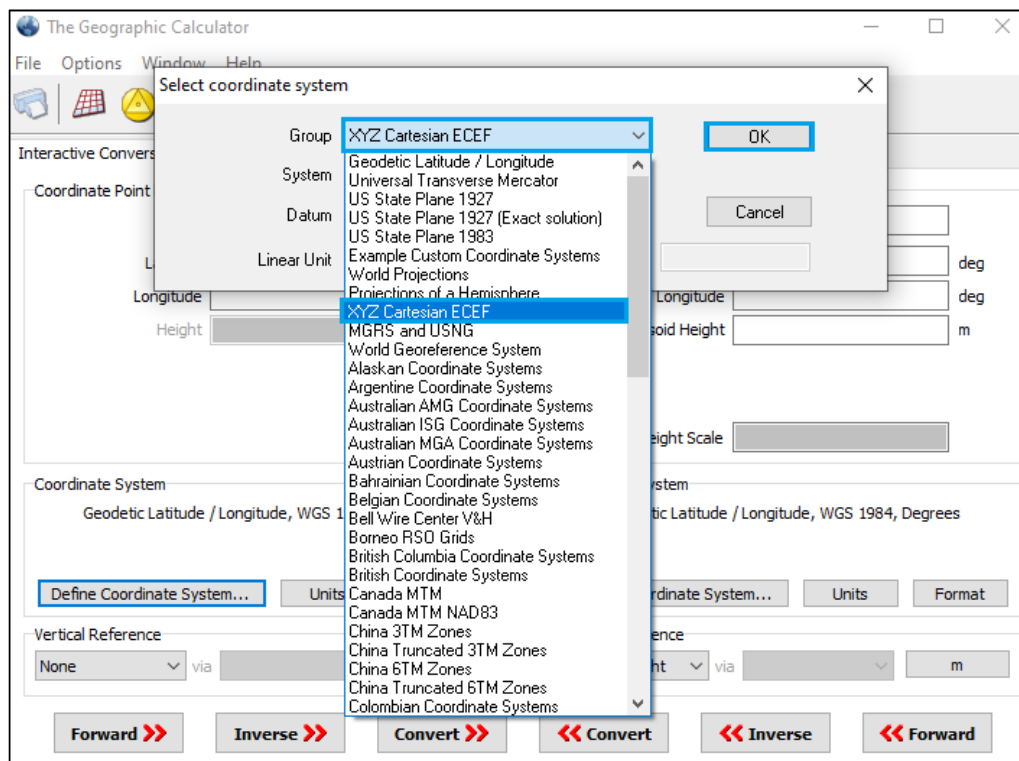
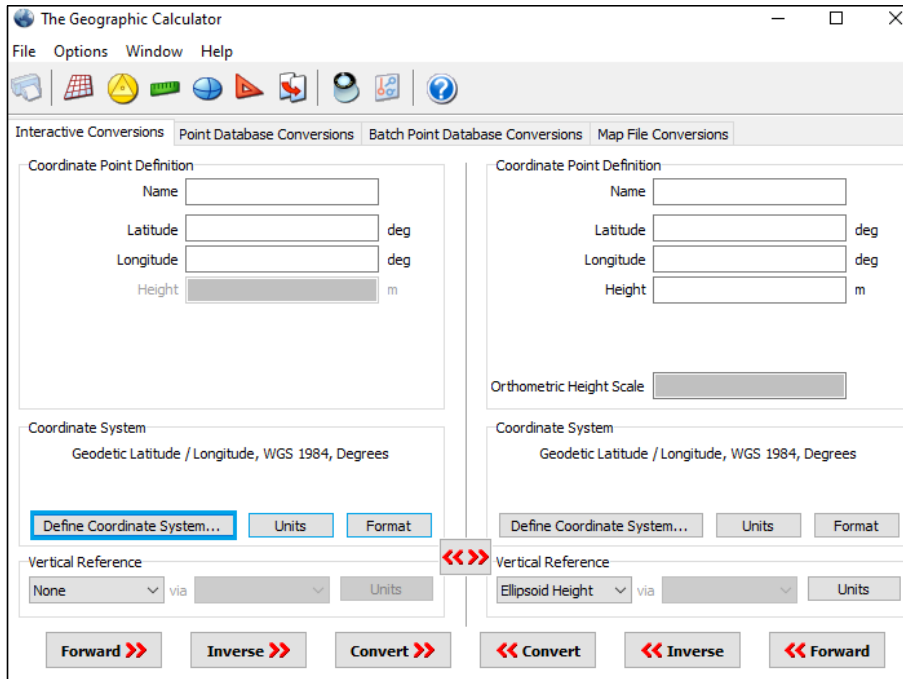
Conversión de Coordenadas Cartesianas a
Coordenadas Geográficas utilizando
Geographic Calculator

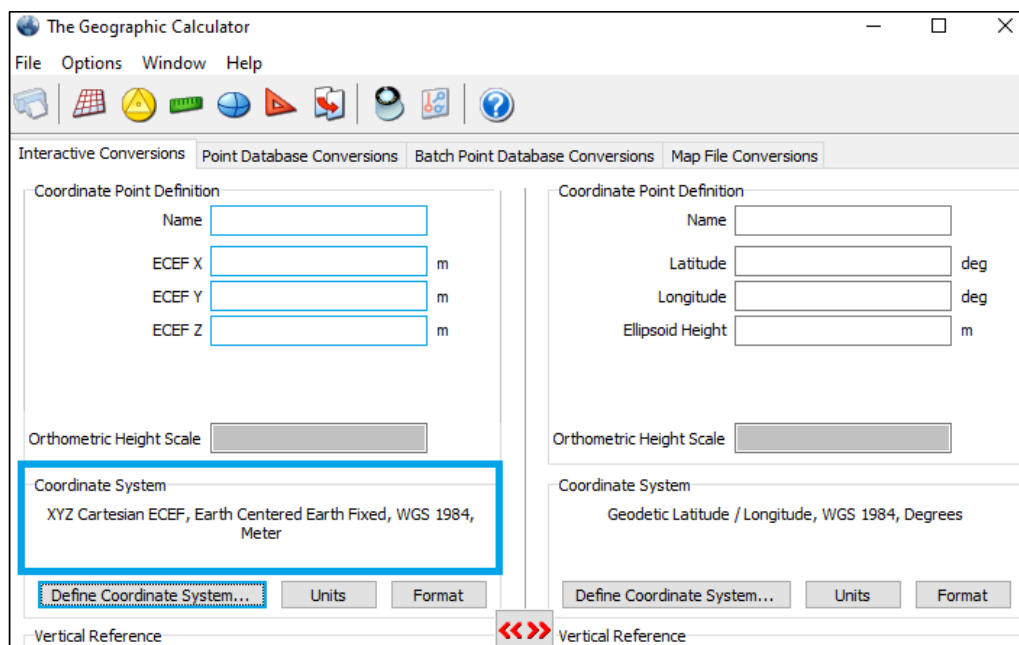
CONVERSION DE COORDENADAS CARTESIANAS A GEOGRAFICAS UTILIZANDO GEOGRAPHIC CALCULATOR

1. Abrir el programa Geographic Calculator

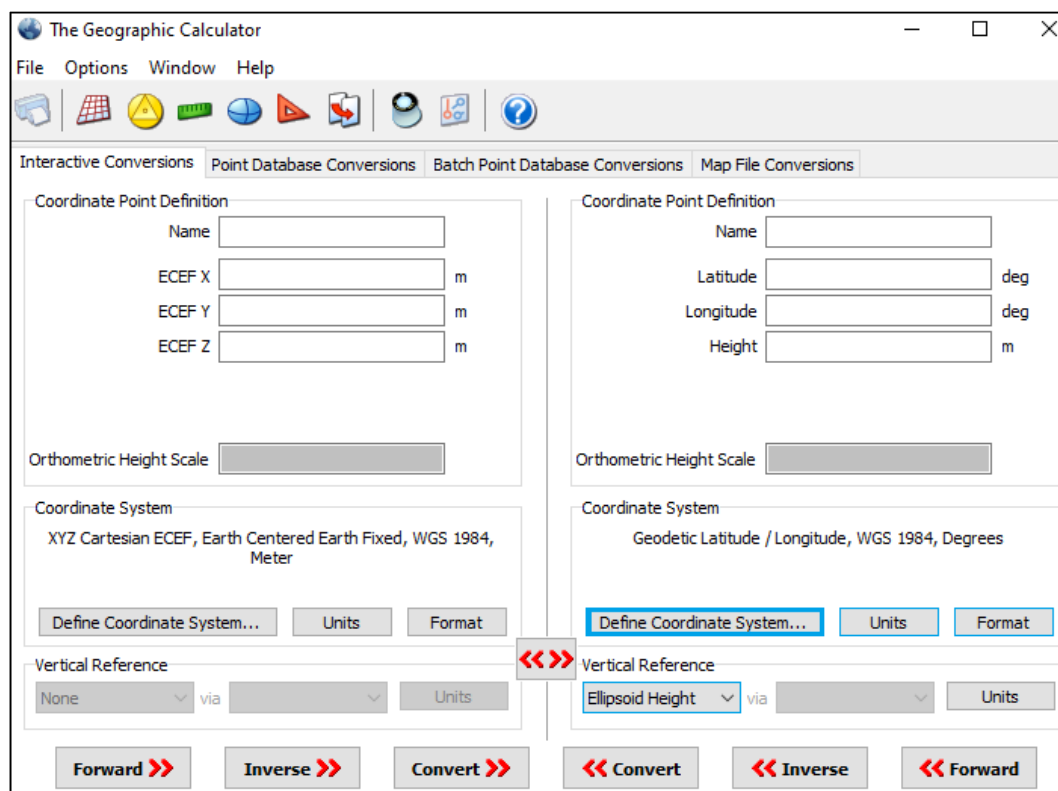


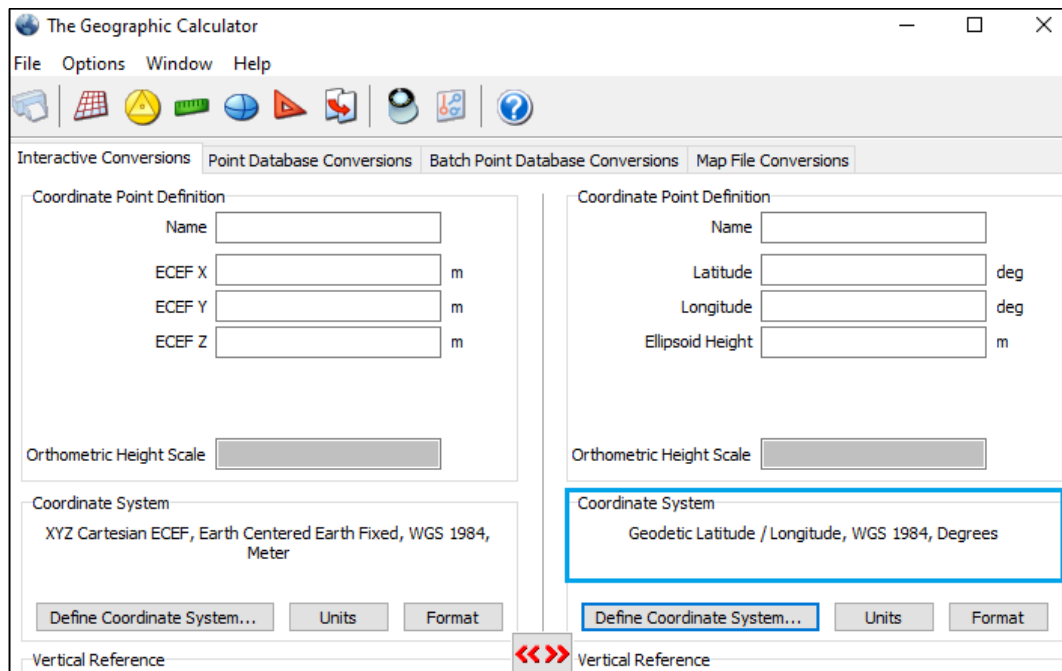
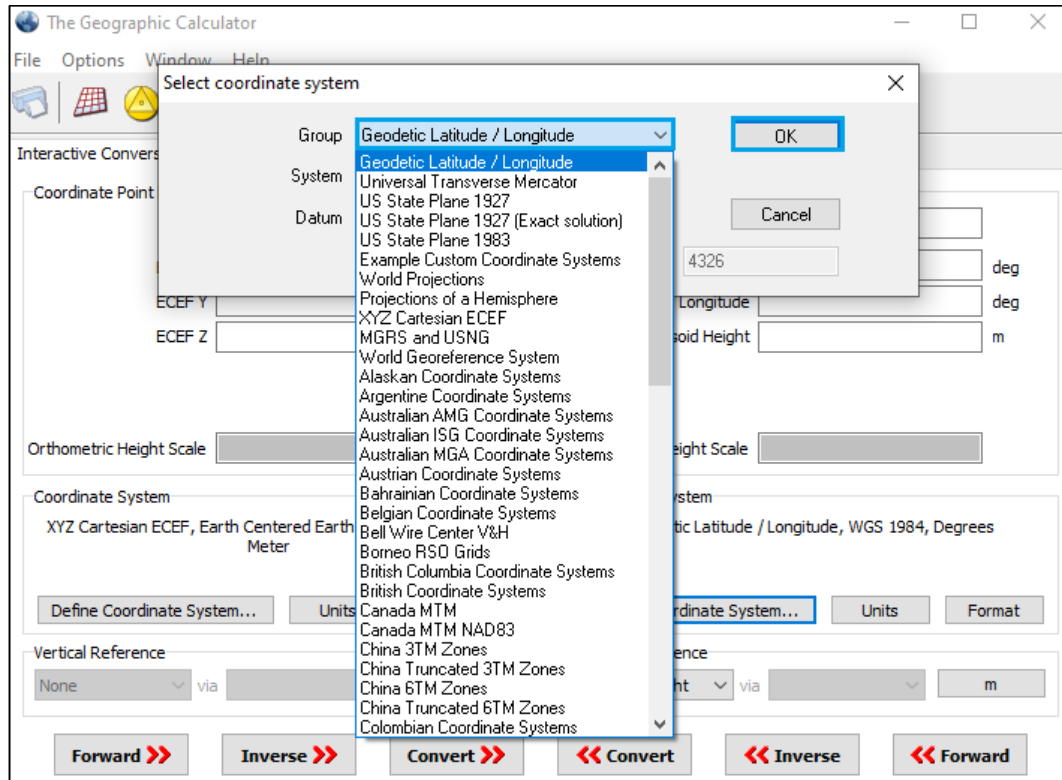
2. Aparecerá la interfaz en donde se define, primeramente el sistema de coordenadas de entrada. Dando click en la opción "Define Coordinate System", en la ventana "Select coordinate System" y en la opción "Group", elegir el sistema correspondiente. Para este caso en particular se tiene el Sistema de Coordenadas Cartesianas Geocéntricas.





3. De la misma manera se define el sistema de coordenadas de salida, el cual corresponde al Sistema Geodésico Mundial o World Geodetic System WGS-84.





NOTA: al ser definidos los sistemas de entrada y salida también pueden ser configurados los parámetros: unidades y formato de dichos datos, los cuales son configurados con los botones respectivos, “Units” y “Format”.

Seguidamente se deben introducir los datos de entrada los cuales son: coordenadas en X, Y, y Z, para el ejemplo se tienen los datos del vértice llamado “HSIH”, luego dar click al botón “Convert” para obtener los valores de latitud, longitud y elevación elipsoidal correspondientes.

Luego resulta conveniente copiar cada uno de los valores calculados y hacer una lista en archivo Word.

The screenshot displays the 'The Geographic Calculator' application window. The interface is divided into two main panels for coordinate conversion. The left panel is titled 'Interactive Conversions' and shows the 'Point Database Conversions' tab selected. It contains the following fields and values:

- Coordinate Point Definition:**
 - Name:
 - ECEF X: m
 - ECEF Y: m
 - ECEF Z: m
- Orthometric Height Scale:**
- Coordinate System:** XYZ Cartesian ECEF, Earth Centered Earth Fixed, WGS 1984, Meter

The right panel is titled 'Map File Conversions' and shows the 'Interactive Conversions' tab selected. It contains the following fields and values:

- Coordinate Point Definition:**
 - Name:
 - Latitude: deg
 - Longitude: deg
 - Ellipsoid Height: m
- Orthometric Height Scale:**
- Coordinate System:** Geodetic Latitude / Longitude, WGS 1984, Degrees

The application window includes a menu bar (File, Options, Window, Help) and a toolbar with various icons for file operations and calculations.

The Geographic Calculator

File Options Window Help

Interactive Conversions Point Database Conversions Batch Point Database Conversions Map File Conversions

Coordinate Point Definition

Name: HSIH

ECEF X: 42310.04953 m

ECEF Y: -6202390.574 m

ECEF Z: 1481406.857 m

Orthometric Height Scale: []

Coordinate System: XYZ Cartesian ECEF, Earth Centered Earth Fixed, WGS 1984, Meter

Define Coordinate System... Units Format

Vertical Reference: None via [] Units

Coordinate Point Definition

Name: []

Latitude: [] deg

Longitude: [] deg

Height: [] m

Orthometric Height Scale: []

Coordinate System: Geodetic Latitude / Longitude, WGS 1984, Degrees

Define Coordinate System... Units Format

Vertical Reference: Ellipsoid Height via [] Units

Forward >> Inverse >> Convert >> << Convert << Inverse << Forward

The Geographic Calculator

File Options Window Help

Interactive Conversions Point Database Conversions Batch Point Database Conversions Map File Conversions

Coordinate Point Definition

Name: HSIH

ECEF X: 42310.04953 m

ECEF Y: -6202390.574 m

ECEF Z: 1481406.857 m

Orthometric Height Scale: []

Coordinate System: XYZ Cartesian ECEF, Earth Centered Earth Fixed, WGS 1984, Meter

Coordinate Point Definition

Name: HSIH

Latitude: 13-31-12.12007 deg

Longitude: -89-36-32.97174 deg

Ellipsoid Height: 12.849 m

Orthometric Height Scale: 0.999997973067833

Coordinate System: Geodetic Latitude / Longitude, WGS 1984, Degrees

NOTA: este procedimiento será llevado a cabo para cada uno de los vértices

ANEXO G

Informe de Coordenadas de Ajuste de la Red Geodésica



Revisión de Coordenadas

www.trimble.com

Copyright (C) 2001 - 2002 by Trimble Navigation Limited.

AJUSTE

Nombre del usuario	Beatriz Marrokings	Fecha y hora	20:9:2 3/1/2021
Sistema de coordenadas	Proyección Estándar de Mapa	Zona	
Datum del proyecto		Modelo de geoide	
Unidades de coordenadas	Metro		
Unidades de distancia	Metro		
Unidades de altitud	Metro		
Unidades de ángulo	Grados		

Número de Puntos

44

1. Información de Punto

Nombre de Punto	Código de Punto	Info. del punto	Cálculo	Ajustado	Local	Control
ACRO	DEFAULT		No	Si	No	No
ATAL	DEFAULT		No	Si	No	No
BCHI	DEFAULT		No	Si	No	No
BCIE	DEFAULT		No	Si	No	No
BENJ	DEFAULT		No	Si	No	No
BSIS	BSIS		No	Si	No	No
BUST	BUST		No	Si	No	No
BVIE	DEFAULT		No	Si	No	No
BVIS	DEFAULT		No	Si	No	No
CAUT	DEFAULT		No	Si	No	No
CBAI	CBAI		No	Si	No	No
CCAR	DEFAULT		No	Si	No	No
CCLF	DEFAULT		No	Si	No	No
CEED	DEFAULT		No	Si	No	No
CEMA	DEFAULT		No	Si	No	No
CEPE	CEPE		No	Si	No	No
CLCR	DEFAULT		No	Si	No	No
CLEN	DEFAULT		No	Si	No	No
CLLA	DEFAULT		No	Si	No	No
CLRO	CLRO		No	Si	No	No
CPDC	DEFAULT		No	Si	No	No
CSUN	DEFAULT		No	Si	No	No

ENAN	DEFAULT	No	Si	No	No
EOBR	DEFAULT	No	Si	No	No
EZOP	DEFAULT	No	Si	No	No
HECO	DEFAULT	No	Si	No	No
HEZO	HEZO	No	Si	No	No
HMIR	DEFAULT	No	Si	No	No
HSIH	DEFAULT	Si	No	No	No
LEQU	DEFAULT	No	Si	No	No
LITO	DEFAULT	No	Si	No	No
NOA1	DEFAULT	Si	No	No	No
RGUA	DEFAULT	No	Si	No	No
RLCR	DEFAULT	No	Si	No	No
ROSA	DEFAULT	No	Si	No	No
RSJO	DEFAULT	No	Si	No	No
SALI	DEFAULT	No	Si	No	No
SALM	SALM	No	Si	No	No
SJOS	DEFAULT	No	Si	No	No
SMAR	DEFAULT	No	Si	No	No
SPAB	0354	No	Si	No	No
VELE	DEFAULT	No	Si	No	No
VERA	DEFAULT	No	Si	No	No
VLEZ	DEFAULT	No	Si	No	No

2. WGS84 - Coordenadas Cartesianas Geocéntricas

Nombre de Punto	X	Y	Z
ACRO	30113.0171 m	-6197728.3448 m	1501812.7228 m
ATAL	22252.2916 m	-6199556.4237 m	1493924.2619 m
BCHI	50585.8575 m	-6199008.3039 m	1497890.9360 m
BCIE	28943.2113 m	-6201986.4384 m	1483397.2016 m
BENJ	43774.0199 m	-6196907.7341 m	1506329.7731 m
BSIS	47685.2032 m	-6196072.2977 m	1510389.1887 m
BUST	28330.6010 m	-6194157.5361 m	1521378.1181 m
BVIE	32864.0130 m	-6195782.1559 m	1511552.1598 m
BVIS	26803.5696 m	-6195157.1217 m	1515764.6755 m
CAUT	9910.4467 m	-6199346.3674 m	1494528.9345 m
CBAI	38651.1661 m	-6194569.1400 m	1520497.1388 m
CCAR	37601.7936 m	-6196492.4417 m	1508450.2282 m
CCLF	42629.9070 m	-6198191.2814 m	1501446.1014 m
CEED	28567.5081 m	-6199175.3050 m	1495573.8281 m
CEMA	10280.6169 m	-6198770.4198 m	1497000.8827 m
CEPE	47287.5014 m	-6195371.3232 m	1514626.3215 m
CLCR	47168.2278 m	-6200039.7570 m	1493755.7884 m
CLEN	38689.8029 m	-6199115.5668 m	1496762.4121 m
CLLA	47350.4910 m	-6197330.0918 m	1504345.6785 m
CLRO	41179.4337 m	-6200099.7107 m	1492296.0990 m

CPDC	41410.4041 m	-6200925.9995 m	1488116.8651 m
CSUN	16406.4142 m	-6199754.8785 m	1492840.2100 m
ENAN	9954.7311 m	-6197740.7445 m	1501502.3317 m
EOBR	26919.5176 m	-6201414.4708 m	1485857.0340 m
EZOP	21600.1843 m	-6197662.0524 m	1502311.9128 m
HECO	38355.3123 m	-6202167.5501 m	1482394.3533 m
HEZO	20034.0386 m	-6201178.8084 m	1486987.3259 m
HMIR	24813.4378 m	-6200305.0593 m	1490782.5185 m
HSIH	42310.0496 m	-6202390.5744 m	1481406.8572 m
LEQU	46365.8004 m	-6201291.3553 m	1487797.3566 m
LITO	31384.7403 m	-6201179.0002 m	1486738.1964 m
NOA1	18107.1118 m	-6200928.4607 m	1487983.7180 m
RGUA	55780.6945 m	-6196002.6223 m	1509449.2062 m
RLCR	48416.4371 m	-6198345.9812 m	1500370.3857 m
ROSA	25362.6101 m	-6197712.7296 m	1502197.2149 m
RSJO	33764.5132 m	-6196687.6601 m	1507067.5813 m
SALI	19853.0951 m	-6201814.9883 m	1484263.4036 m
SALM	19421.1371 m	-6198587.7776 m	1498037.4137 m
SJOS	31606.1256 m	-6195076.7225 m	1516248.9564 m
SMAR	33707.8486 m	-6199964.6911 m	1492365.0255 m
SPAB	39732.1952 m	-6195973.8657 m	1515458.3999 m
VELE	35744.7144 m	-6197587.9828 m	1503038.8169 m
VERA	24795.4591 m	-6196381.4663 m	1509335.8045 m
VLEZ	34140.7034 m	-6201417.0408 m	1485616.9589 m

3. WGS84 - Coordenadas Geográficas

Nombre de Punto	Latitud	Longitud	Altitud
ACRO	N 13° 42' 33.69578"	O 89° 43' 17.82527"	215.8364 m
ATAL	N 13° 38' 10.48821"	O 89° 47' 39.64947"	95.1817 m
BCHI	N 13° 40' 18.83635"	O 89° 31' 56.85167"	660.6779 m
BCIE	N 13° 32' 18.74824"	O 89° 43' 57.41768"	10.9103 m
BENJ	N 13° 45' 02.17496"	O 89° 35' 43.00081"	569.9031 m
BSIS	N 13° 47' 16.69986"	O 89° 33' 32.60971"	752.7248 m
BUST	N 13° 53' 19.64976"	O 89° 44' 16.60049"	1406.6594 m
BVIE	N 13° 47' 56.44400"	O 89° 41' 45.92898"	654.6757 m
BVIS	N 13° 50' 14.61253"	O 89° 45' 07.59348"	1025.5250 m
CAUT	N 13° 38' 31.46611"	O 89° 54' 30.25965"	2.5236 m
CBAI	N 13° 52' 48.17972"	O 89° 38' 33.02238"	1648.9963 m
CCAR	N 13° 46' 12.71292"	O 89° 39' 08.35134"	631.5518 m
CCLF	N 13° 42' 17.97142"	O 89° 36' 21.37472"	650.0655 m
CEED	N 13° 39' 05.37452"	O 89° 44' 09.48166"	139.0852 m
CEMA	N 13° 39' 54.04697"	O 89° 54' 17.91159"	26.9426 m
CEPE	N 13° 49' 36.03349"	O 89° 33' 45.67017"	1080.2897 m
CLCR	N 13° 38' 00.38398"	O 89° 33' 50.82334"	660.7315 m
CLEN	N 13° 39' 42.99195"	O 89° 38' 32.68071"	415.0238 m

CLLA	N 13° 43' 56.00075"	O 89° 33' 44.07139"	534.3999 m
CLRO	N 13° 37' 14.09508"	O 89° 37' 10.06348"	333.6264 m
CPDC	N 13° 34' 55.59068"	O 89° 37' 02.56347"	155.4103 m
CSUN	N 13° 37' 34.82589"	O 89° 50' 54.16262"	14.8510 m
ENAN	N 13° 42' 24.29073"	O 89° 54' 28.70042"	91.0238 m
EOBR	N 13° 33' 40.99150"	O 89° 45' 04.63746"	22.3300 m
EZOP	N 13° 42' 50.26061"	O 89° 48' 01.12573"	235.2570 m
HECO	N 13° 31' 45.25436"	O 89° 38' 44.43784"	1.9496 m
HEZO	N 13° 34' 18.74179"	O 89° 48' 53.62626"	33.0447 m
HMIR	N 13° 36' 25.32409"	O 89° 46' 14.53874"	92.2928 m
HSIH	N 13° 31' 12.12007"	O 89° 36' 32.97174"	12.8490 m
LEQU	N 13° 34' 42.42604"	O 89° 34' 17.82853"	469.6098 m
LITO	N 13° 34' 10.50089"	O 89° 42' 36.08366"	20.5184 m
NOA1	N 13° 34' 52.21510"	O 89° 49' 57.69515"	17.8300 m
RGUA	N 13° 46' 47.01398"	O 89° 29' 03.11194"	526.7417 m
RLCR	N 13° 41' 42.44841"	O 89° 33' 08.85987"	586.8771 m
ROSA	N 13° 42' 46.13415"	O 89° 45' 55.91689"	271.1467 m
RSJO	N 13° 45' 27.67885"	O 89° 41' 16.11540"	470.7366 m
SALI	N 13° 32' 47.72906"	O 89° 48' 59.71251"	12.2992 m
SALM	N 13° 40' 28.05502"	O 89° 49' 13.74248"	115.7112 m
SJOS	N 13° 50' 30.35982"	O 89° 42' 27.68457"	1085.2853 m
SMAR	N 13° 37' 17.65507"	O 89° 41' 18.59452"	174.7859 m
SPAB	N 13° 49' 58.04452"	O 89° 37' 57.32799"	1812.7295 m
VELE	N 13° 43' 13.30412"	O 89° 40' 10.37674"	399.2416 m
VERA	N 13° 46' 42.05606"	O 89° 46' 14.61452"	671.9989 m
VLEZ	N 13° 33' 33.10656"	O 89° 41' 04.46043"	3.0973 m

4. Coordenadas de Cuadrícula Nacionales

Nombre de Punto	Direc. norte	Direc. este	Altitud	Elevación
ACRO	-13658.6996 m	-9633.1228 m	215.7688 m	215.7688 m
ATAL	-21745.8600 m	-17507.8128 m	95.0165 m	95.0165 m
BCHI	-17803.9608 m	10835.5363 m	660.5593 m	660.5593 m
BCIE	-32562.2942 m	-10830.9795 m	10.4883 m	10.4883 m
BENJ	-9095.7477 m	4036.0934 m	569.8708 m	569.8708 m
BSIS	-4959.3699 m	7953.0896 m	752.7204 m	752.7204 m
BUST	6199.5397 m	-11390.9022 m	1406.6555 m	1406.6555 m
BVIE	-3737.8900 m	-6868.5143 m	654.6743 m	654.6743 m
BVIS	511.9232 m	-12925.1803 m	1025.5400 m	1025.5400 m
CAUT	-21089.7069 m	-29851.9669 m	2.4225 m	2.4225 m
CBAI	5229.6186 m	-1072.4787 m	1648.9852 m	1648.9852 m
CCAR	-6927.5462 m	-2134.5318 m	631.5327 m	631.5327 m
CCLF	-14143.7186 m	2883.5149 m	649.9847 m	649.9847 m
CEED	-20062.0967 m	-11188.4387 m	138.9324 m	138.9324 m
CEMA	-18551.5140 m	-29477.8491 m	26.8806 m	26.8806 m
CEPE	-676.1744 m	7559.4343 m	1080.2947 m	1080.2947 m
CLCR	-22061.3346 m	7410.7419 m	660.5380 m	660.5380 m

CLEN	-18908.0941 m	-1063.2067 m	414.8782 m	414.8782 m
CLLA	-11129.2225 m	7610.5312 m	534.3547 m	534.3547 m
CLRO	-23485.3137 m	1420.6396 m	333.4017 m	333.4017 m
CPDC	-27743.0456 m	1646.4111 m	155.0967 m	155.0967 m
CSUN	-22837.5453 m	-23356.7920 m	14.6874 m	14.6874 m
ENAN	-13932.4891 m	-29796.8646 m	91.0248 m	91.0248 m
EOBR	-30033.1517 m	-12851.5169 m	21.9769 m	21.9769 m
EZOP	-13144.9163 m	-18147.4714 m	235.2163 m	235.2163 m
HECO	-33594.1420 m	-1417.4459 m	1.4894 m	1.4894 m
HEZO	-28868.3527 m	-19737.3277 m	32.7398 m	32.7398 m
HMIR	-24980.3044 m	-14950.8420 m	92.0584 m	92.0584 m
HSIH	-34612.6282 m	2536.9568 m	12.3608 m	12.3608 m
LEQU	-28146.9574 m	6600.3760 m	469.2906 m	469.2906 m
LITO	-29127.8378 m	-8383.5614 m	20.1787 m	20.1787 m
NOA1	-27837.8181 m	-21663.2134 m	17.5561 m	17.5561 m
RGUA	-5868.2036 m	16050.7969 m	526.7509 m	526.7509 m
RLCR	-15234.4470 m	8670.0963 m	586.7893 m	586.7893 m
ROSA	-13274.1297 m	-14384.4156 m	271.0936 m	271.0936 m
RSJO	-8311.3508 m	-5973.8524 m	470.7116 m	470.7116 m
SALI	-31666.0144 m	-19922.5080 m	11.9259 m	11.9259 m
SALM	-17514.8534 m	-20333.3809 m	115.6234 m	115.6234 m
SJOS	994.0680 m	-8121.5311 m	1085.2909 m	1085.2909 m
SMAR	-23375.2061 m	-6051.8631 m	174.5664 m	174.5664 m
SPAB	-0.6254 m	-0.4516 m	1812.7295 m	1812.7295 m
VELE	-12442.5757 m	-3999.0961 m	399.1799 m	399.1799 m
VERA	-6021.2803 m	-14942.1902 m	672.0043 m	672.0043 m
VLEZ	-30278.1128 m	-5628.3960 m	2.7262 m	2.7262 m

ANEXO H

Conversión de Coordenadas Cartesianas a
Coordenadas Geográficas WGS-1984
Utilizando Geographic Calculator

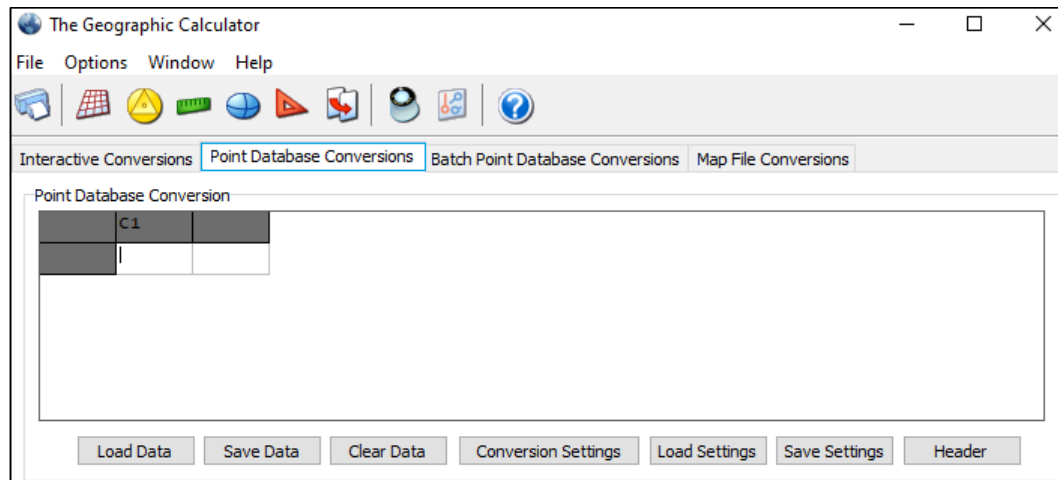
CONVERSIÓN DE COORDENADAS CARTESIANAS A COORDENADAS GEOGRÁFICAS WGS-1984 UTILIZANDO GEOGRAPHIC CALCULATOR

1. Para realizar la conversión de coordenadas, primero que se debe crear una hoja de cálculo en Excel, cuyo formato se presenta en la imagen.

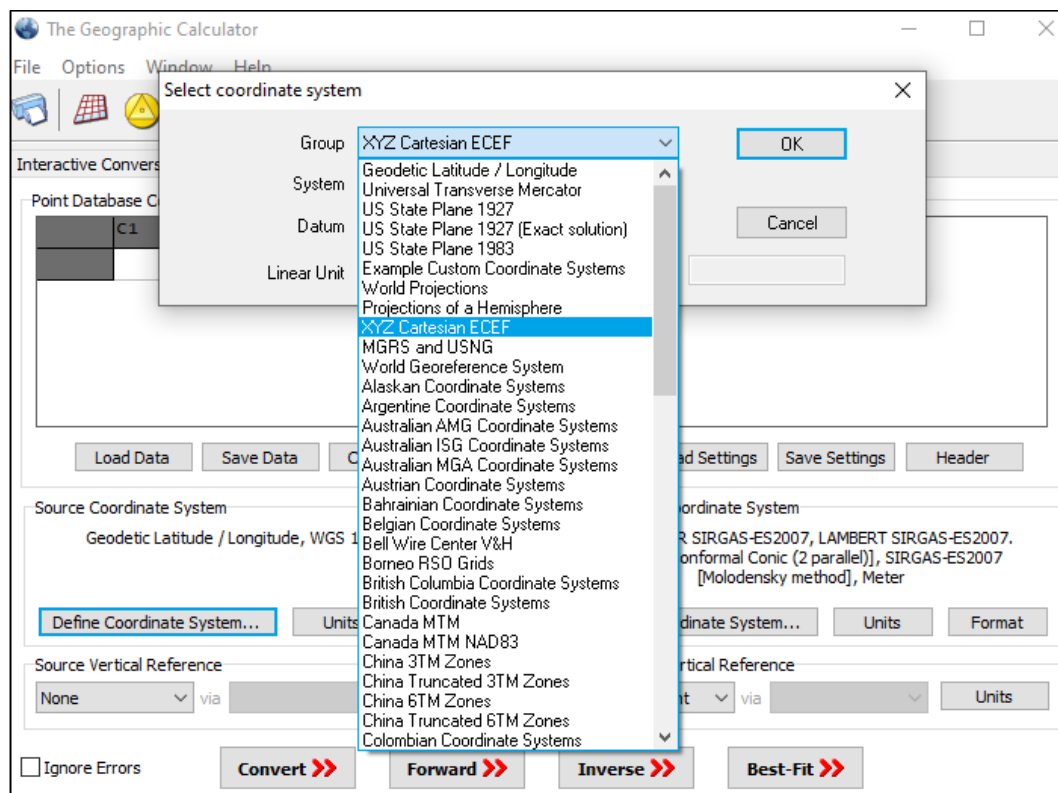
VERTICE	NORTE	ESTE	ELEVACION
ACRO	30112.94176786	-6197728.3642825	1501812.6448702
ATAL	22252.21626786	-6199556.4431825	1493924.1839702
BCHI	50585.77827137	-6199008.3233825	1497890.8554725
BCIE	28943.13207137	-6201986.4578825	1483397.1223714
BENJ	43773.94197020	-6196907.7535825	1506329.6938714
BSIS	47685.12527020	-6196072.3171825	1510389.1094714
BUST	28330.52826552	-6194157.5555825	1521378.0427679
BVIE	32863.93766786	-6195782.1753825	1511552.0831690
BVIS	26803.49686552	-6195157.1411825	1515764.6001679
CAUT	9910.37266669	-6199346.3855836	1494528.8578690
CBAI	38651.09076786	-6194569.1594825	1520497.0621690
CCAR	37601.71696903	-6196492.4611825	1508450.1502702
CCLF	42629.82907020	-6198191.3008825	1501446.0221714
CEED	28567.43146903	-6199175.3244825	1495573.7501702
CEMA	10280.54286669	-6198770.4379836	1497000.8060690
CEPE	47287.42476903	-6195371.3426825	1514626.2422714
CLCR	47168.14857137	-6200039.7764825	1493755.7078725
CLEN	38689.72497020	-6199115.5862825	1496762.3328714
CLLA	47350.41307020	-6197330.1112825	1504345.5992714
CLRO	41179.35447137	-6200099.7301825	1492296.0197714
CPDC	41410.32487137	-6200926.0189825	1488116.7858714
CSUN	16406.33886786	-6199754.8979825	1492840.1333690

NOTA: Es importante que al elaborar la hoja de cálculo, esta sea guardada en formato de Excel 97-2003 para que sea reconocida por el software.

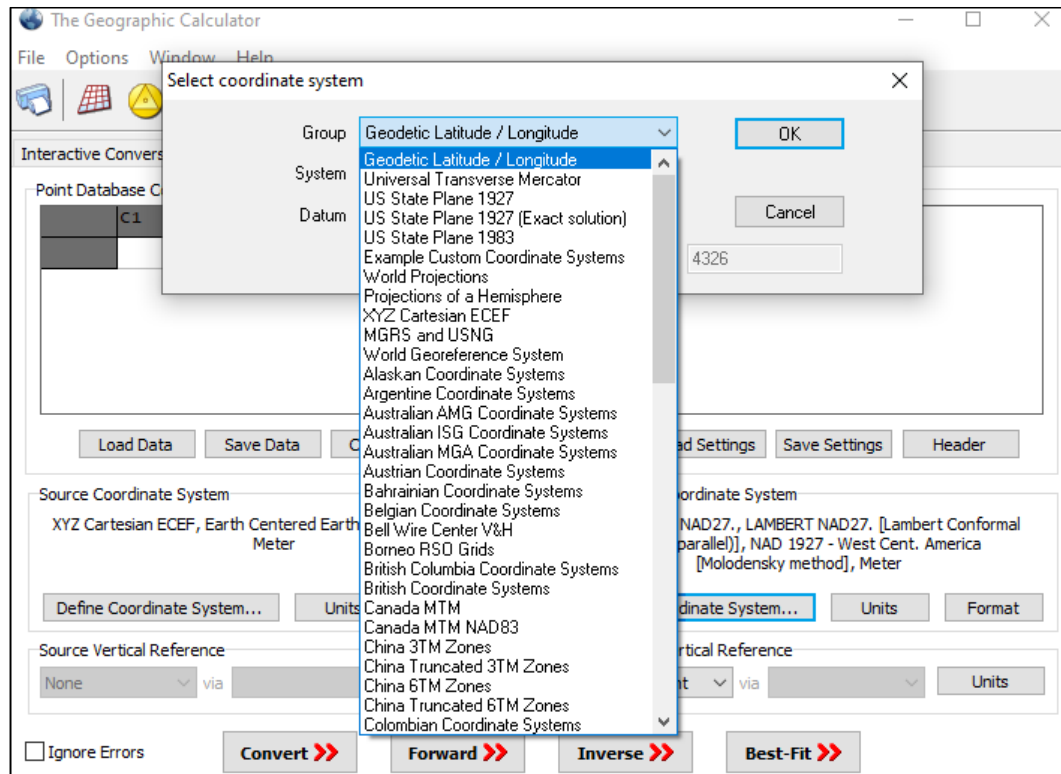
2. Para la importación de la hoja de cálculo e debe ingresar a la pestaña “Point Database Conversions”



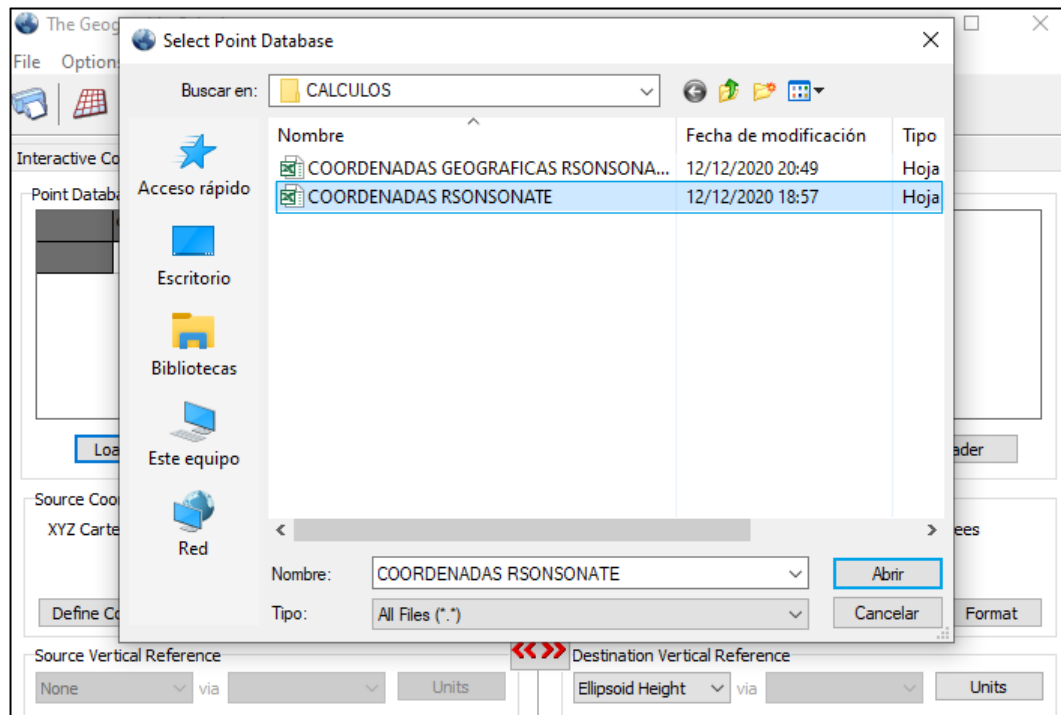
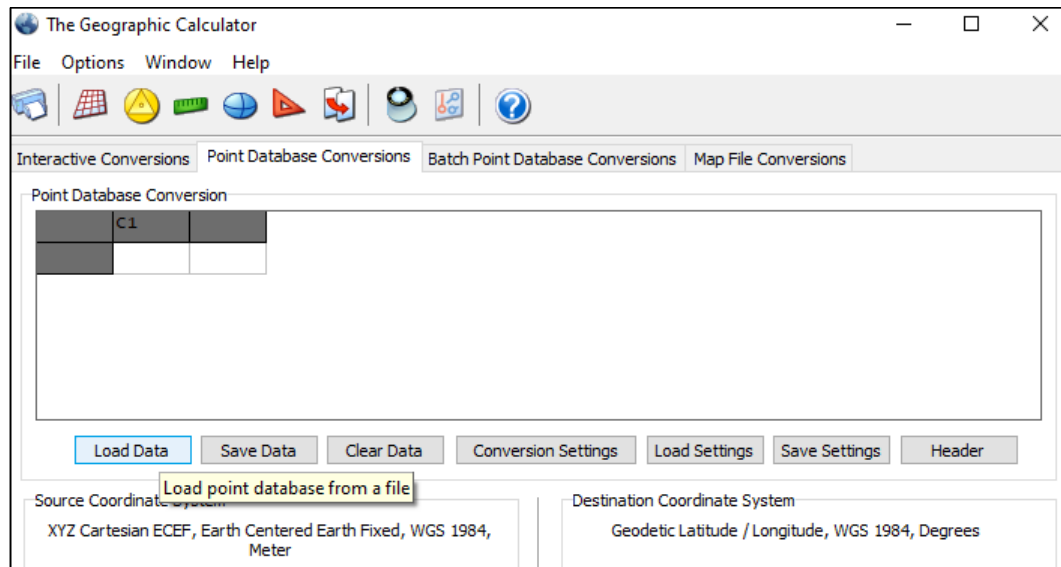
3. En la ventana “Select Coordinate System” y en la lista desplegable de la opción “Group”, elegir el sistema de coordenadas que corresponde a los datos de entrada. Para este caso Sistema de Coordenadas Cartesianas.

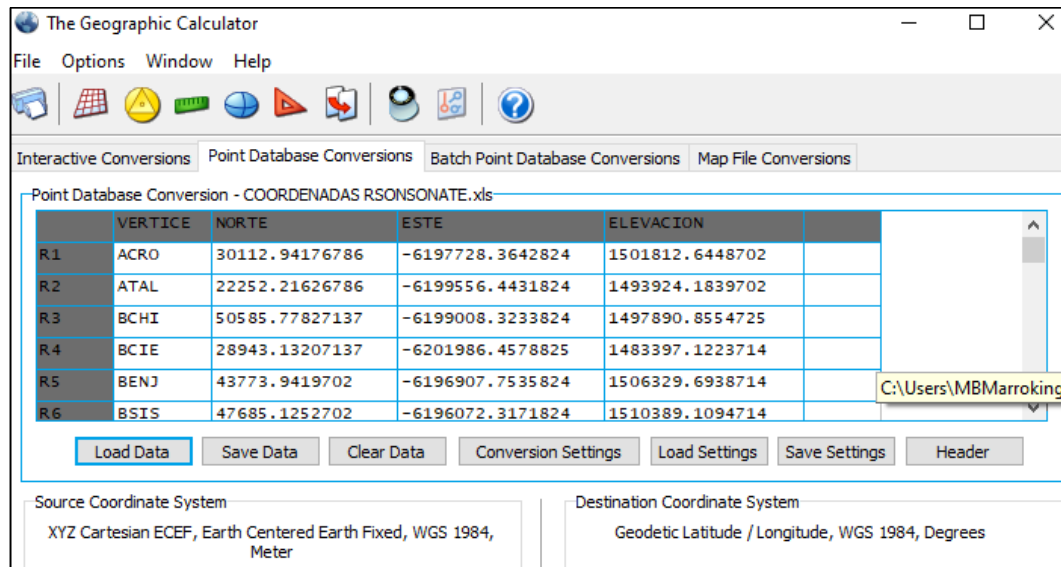


4. También se debe definir el sistema de coordenadas para los datos de salida por lo que en la lista desplegable de la opción “Group”, seleccionar “Geodetic Latitude/ Longitude” para el sistema WGS-84.

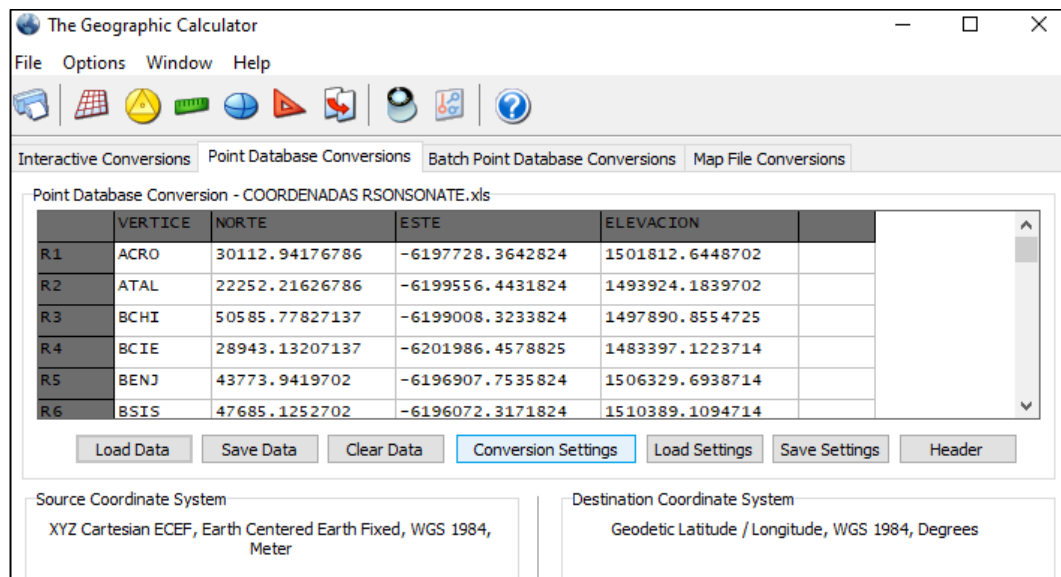


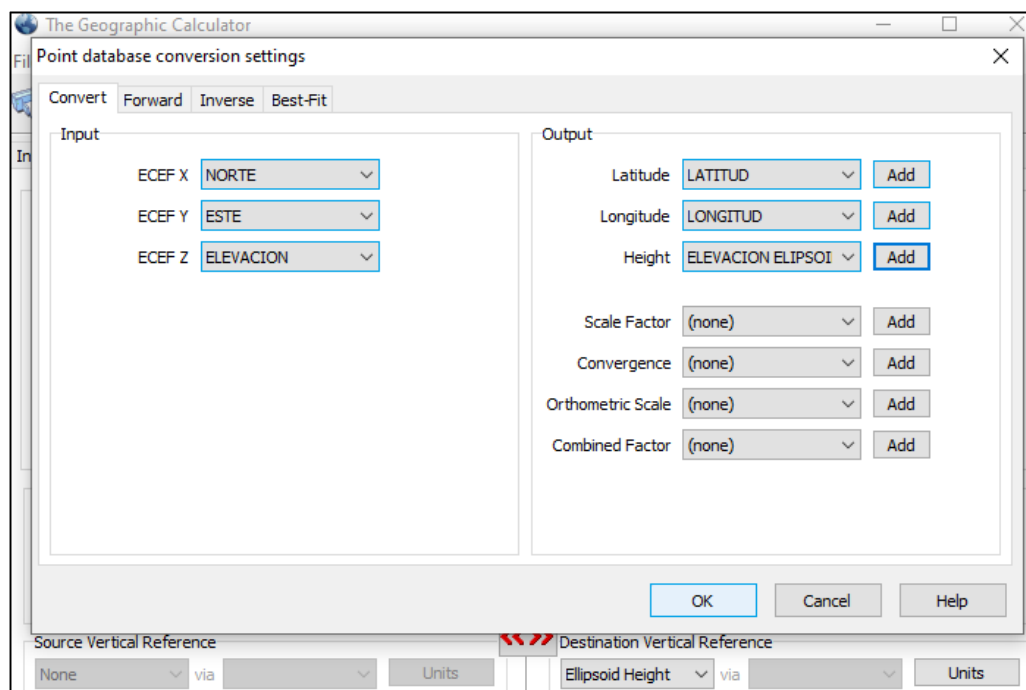
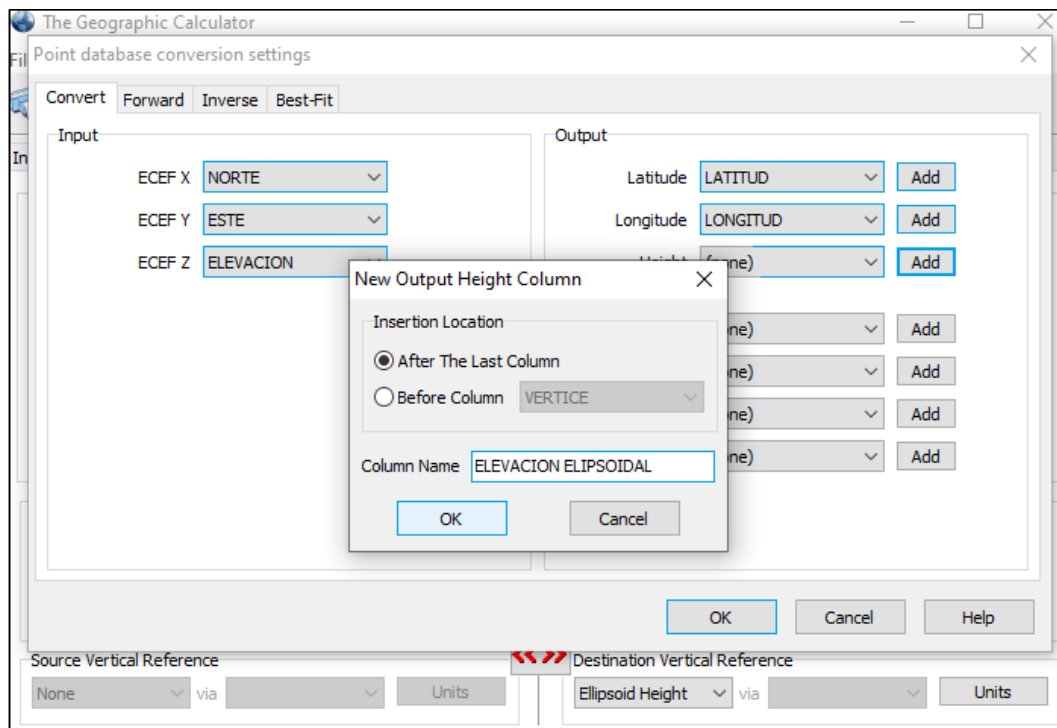
5. Teniendo definidos los sistemas de coordenadas se debe cargar el archivo en formato de Excel en la opción “Load Data”.



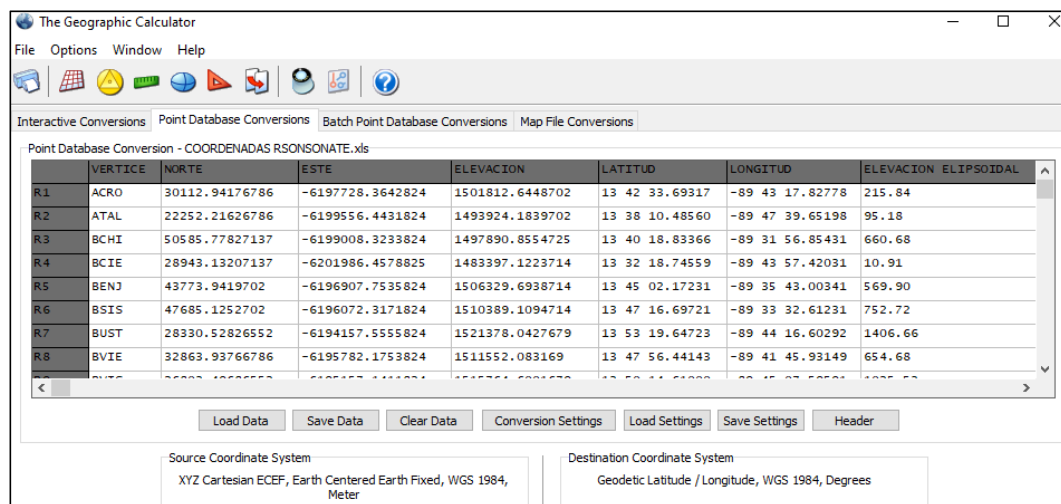
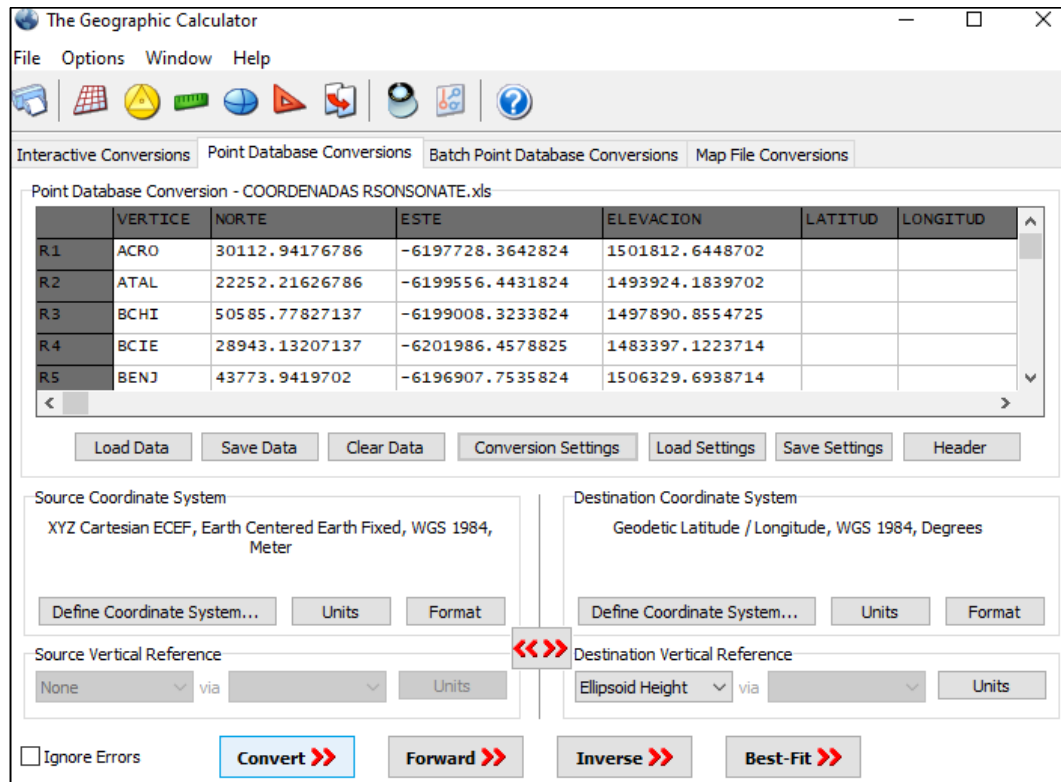


6. Para asegurarse que al momento de convertir las coordenadas Cartesianas a coordenadas Geográficas WGS-84 concuerden los datos calculados, será necesario determinar cuáles serán las columnas con los datos de entrada y las columnas con datos de salida, para esto, se debe dar click a la opción “Conversions Settings” y asignar dichos nombres.

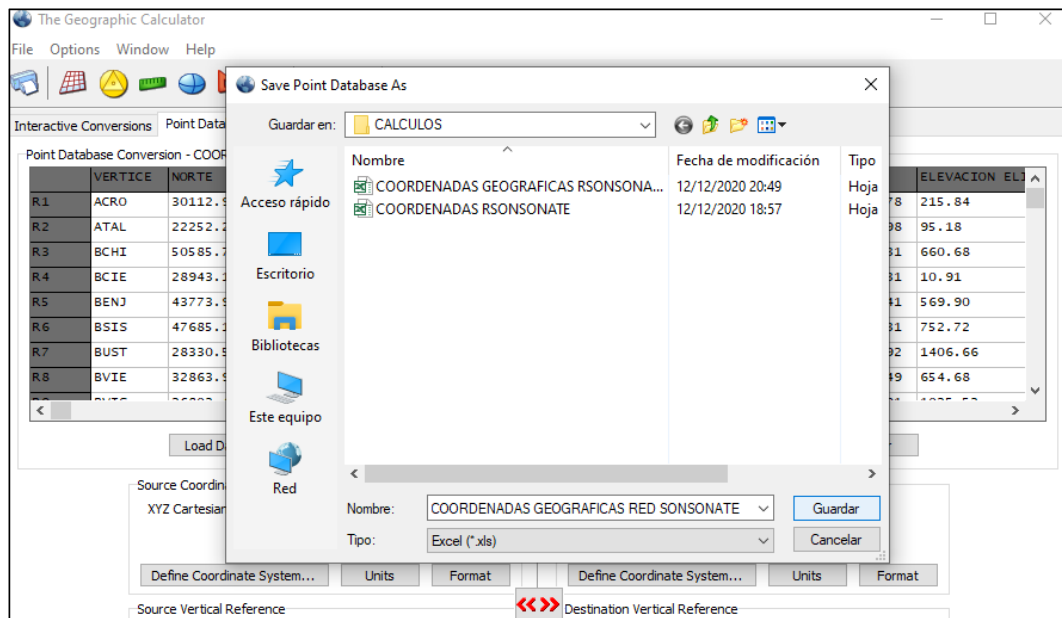
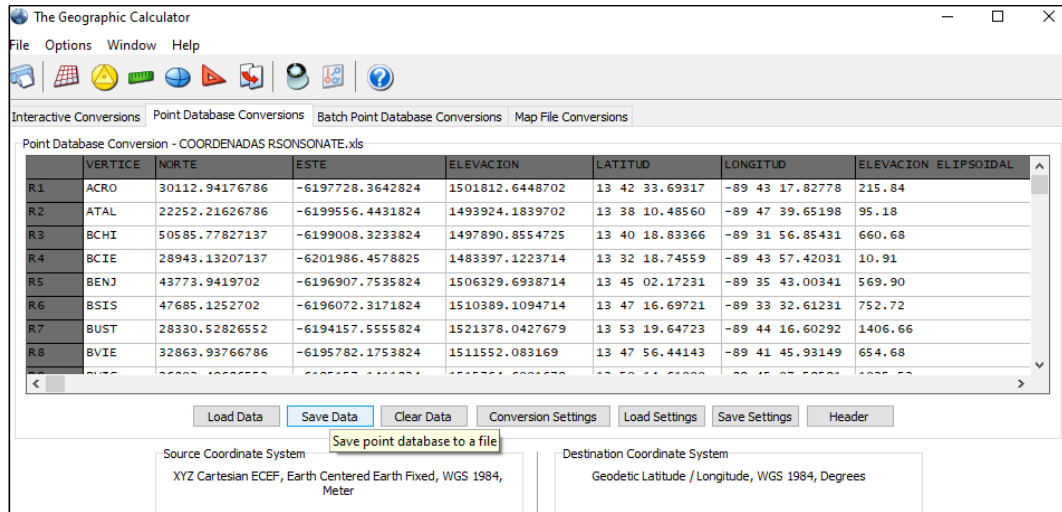




7. Con las columnas ya definidas dar click al botón "Convert", y así aparecerán los resultados con las nuevas coordenadas.



8. Finalmente se debe guardar un nuevo archivo con los datos calculados dando click en el botón “Save Data”, a este se le pondrá el nombre que más convenga para su identificación y se guardará en tipo Excel (*.xls).



ARCHIVO INICIO INSERTAR DISEÑO DE PÁGINA FÓRMULAS DATOS REVISAR VISTA DESARROLLADOR							
VISTA PROTEGIDA No se puede editar este tipo de archivo debido a la configuración de la directiva. Haga clic para obtener más detalles.							
A1 : X ✓ fx VERTICE							
	A	B	C	D	E	F	G
1	VERTICE	NORTE	ESTE	ELEVACION	LATITUD	LONGITUD	ELEVACION ELIPSOIDAL
2	ACRO	30112.94176786	-6197728.3642824	1501812.6448702	13 42 33.69317	-89 43 17.82778	215.84
3	ATAL	22252.21626786	-6199556.4431824	1493924.1839702	13 38 10.48560	-89 47 39.65198	95.18
4	BCHI	50585.77827137	-6199008.3233824	1497890.8554725	13 40 18.83366	-89 31 56.85431	660.68
5	BCIE	28943.13207137	-6201986.4578825	1483397.1223714	13 32 18.74559	-89 43 57.42031	10.91
6	BENJ	43773.9419702	-6196907.7535824	1506329.6938714	13 45 02.17231	-89 35 43.00341	569.90
7	BSIS	47685.1252702	-6196072.3171824	1510389.1094714	13 47 16.69721	-89 33 32.61231	752.72
8	BUST	28330.52826552	-6194157.5555824	1521378.0427679	13 53 19.64723	-89 44 16.60292	1406.66
9	BVIE	32863.93766786	-6195782.1753824	1511552.083169	13 47 56.44143	-89 41 45.93149	654.68
10	BVIS	26803.49686552	-6195157.1411824	1515764.6001679	13 50 14.61000	-89 45 07.59591	1025.53
11	CAUT	9910.37266669	-6199346.3855836	1494528.857869	13 38 31.46354	-89 54 30.26212	2.52
12	CBAI	38651.09076786	-6194569.1594824	1520497.062169	13 52 48.17715	-89 38 33.02490	1649.00
13	CCAR	37601.71696903	-6196492.4611824	1508450.1502702	13 46 12.71031	-89 39 08.35389	631.55
14	CCLF	42629.8290702	-6198191.3008824	1501446.0221714	13 42 17.96877	-89 36 21.37731	650.07
15	CEED	28567.43146903	-6199175.3244824	1495573.7501702	13 39 05.37191	-89 44 09.48421	139.09
16	CEMA	10280.54286669	-6198770.4379836	1497000.806069	13 39 54.04440	-89 54 17.91406	26.94
17	CEPE	47287.42476903	-6195371.3426825	1514626.2422714	13 49 36.03084	-89 33 45.67272	1080.29
18	CLCR	47168.14857137	-6200039.7764824	1493755.7078725	13 38 00.38129	-89 33 50.82598	660.73
19	CLEN	38689.7249702	-6199115.5862824	1496762.3328714	13 39 42.98930	-89 38 32.68330	415.02
20	CLLA	47350.4130702	-6197330.1112824	1504345.5992714	13 43 55.99810	-89 33 44.07399	534.40
21	CLRO	41179.35447137	-6200099.7301824	1492296.0197714	13 37 14.09243	-89 37 10.06612	333.63
22	CPDC	41410.32487137	-6200926.0189824	1488116.7858714	13 34 55.58803	-89 37 02.56611	155.41
23	CSUN	16406.33886786	-6199754.8979824	1492840.133369	13 37 34.82332	-89 50 54.16513	14.85
24	ENAN	9954.65836552	-6197740.7626836	1501502.2563679	13 42 24.28821	-89 54 28.70284	91.02
25	EOBR	26919.4396702	-6201414.4902824	1485856.9547714	13 33 40.98884	-89 45 04.64006	22.33
26	EZOP	21600.11026669	-6197662.0718825	1502311.836169	13 42 50.25804	-89 48 01.12820	235.26

COORDENADAS GEOGRAFICAS RED SON

LISTO

ANEXO I

Informe de Conversión de Coordenadas
Cartesianas Geocéntricas a Coordenadas
Geográficas Época 2007.8, Utilizando Trimble
Total Control.



Revisión de Coordenadas

www.trimble.com

Copyright (C) 2001 - 2002 by Trimble Navigation Limited.

CONVERSIÓN DE COORDENADAS ÉPOCA 2007.8

Nombre del usuario	Beatriz Marrokings	Fecha y hora	17:18:33 14/1/2021
Sistema de coordenadas	Proyección Estándar de Mapa	Zona	
Datum del proyecto		Modelo de geoide	
Unidades de coordenadas	Metro		
Unidades de distancia	Metro		
Unidades de altitud	Metro		
Unidades de ángulo	Grados		
Aviso	El proyecto contiene coordenadas no calculadas		

Número de Puntos

44

1. Información de Punto

Nombre de Punto	Código de Punto	Info. del punto	Cálculo Ajustado	Local Control
ACRO			No	No
ATAL			No	No
BCHI			No	No
BCIE			No	No
BENJ			No	No
BSIS			No	No
BUST			No	No
BVIE			No	No
BVIS			No	No
CAUT			No	No
CBAI			No	No
CCAR			No	No
CCLF			No	No
CEED			No	No
CEMA			No	No
CEPE			No	No
CLCR			No	No

CLEN	No	No	No	No
CLLA	No	No	No	No
CLRO	No	No	No	No
CPDC	No	No	No	No
CSUN	No	No	No	No
ENAN	No	No	No	No
EOBR	No	No	No	No
EZOP	No	No	No	No
HECO	No	No	No	No
HEZO	No	No	No	No
HMIR	No	No	No	No
HSIH	No	No	No	No
LEQU	No	No	No	No
LITO	No	No	No	No
NOA1	No	No	No	No
RGUA	No	No	No	No
RLCR	No	No	No	No
ROSA	No	No	No	No
RSJO	No	No	No	No
SALI	No	No	No	No
SALM	No	No	No	No
SJOS	No	No	No	No
SMAR	No	No	No	No
SPAB	No	No	No	No
VELE	No	No	No	No
VERA	No	No	No	No
VLEZ	No	No	No	No

2. WGS84 - Coordenadas Cartesianas Geocéntricas

Nombre de Punto	X	Y	Z
ACRO	30112.9418 m	-6197728.3643 m	1501812.6449 m
ATAL	22252.2163 m	-6199556.4432 m	1493924.1840 m
BCHI	50585.7783 m	-6199008.3234 m	1497890.8555 m
BCIE	28943.1321 m	-6201986.4579 m	1483397.1224 m
BENJ	43773.9420 m	-6196907.7536 m	1506329.6939 m
BSIS	47685.1253 m	-6196072.3172 m	1510389.1095 m
BUST	28330.5283 m	-6194157.5556 m	1521378.0428 m
BVIE	32863.9377 m	-6195782.1754 m	1511552.0832 m
BVIS	26803.4969 m	-6195157.1412 m	1515764.6002 m
CAUT	9910.3727 m	-6199346.3856 m	1494528.8579 m
CBAI	38651.0908 m	-6194569.1595 m	1520497.0622 m
CCAR	37601.7170 m	-6196492.4612 m	1508450.1503 m
CCLF	42629.8291 m	-6198191.3009 m	1501446.0222 m
CEED	28567.4315 m	-6199175.3245 m	1495573.7502 m

CEMA	10280.5429 m	-6198770.4380 m	1497000.8061 m
CEPE	47287.4248 m	-6195371.3427 m	1514626.2423 m
CLCR	47168.1486 m	-6200039.7765 m	1493755.7079 m
CLEN	38689.7250 m	-6199115.5863 m	1496762.3329 m
CLLA	47350.4131 m	-6197330.1113 m	1504345.5993 m
CLRO	41179.3545 m	-6200099.7302 m	1492296.0198 m
CPDC	41410.3249 m	-6200926.0190 m	1488116.7859 m
CSUN	16406.3389 m	-6199754.8980 m	1492840.1334 m
ENAN	9954.6584 m	-6197740.7627 m	1501502.2564 m
EOBR	26919.4397 m	-6201414.4903 m	1485856.9548 m
EZOP	21600.1103 m	-6197662.0719 m	1502311.8362 m
HECO	38355.2318 m	-6202167.5696 m	1482394.2728 m
HEZO	20033.9620 m	-6201178.8279 m	1486987.2480 m
HMIR	24813.3612 m	-6200305.0788 m	1490782.4406 m
HSIH	42309.9691 m	-6202390.5939 m	1481406.7767 m
LEQU	46365.7199 m	-6201291.3748 m	1487797.2761 m
LITO	31384.6624 m	-6201179.0197 m	1486738.1172 m
NOA1	18107.0352 m	-6200928.4802 m	1487983.6401 m
RGUA	55780.6153 m	-6196002.6431 m	1509449.1270 m
RLCR	48416.3579 m	-6198346.0007 m	1500370.3065 m
ROSA	25362.5348 m	-6197712.7491 m	1502197.1383 m
RSJO	33764.4379 m	-6196687.6796 m	1507067.5034 m
SALI	19853.0172 m	-6201815.0078 m	1484263.3257 m
SALM	19421.0618 m	-6198587.7971 m	1498037.3371 m
SJOS	31606.0516 m	-6195076.7420 m	1516248.8798 m
SMAR	33707.7707 m	-6199964.7106 m	1492364.9463 m
SPAB	39732.1199 m	-6195973.8852 m	1515458.3220 m
VELE	35744.6378 m	-6197588.0023 m	1503038.7390 m
VERA	24795.3851 m	-6196381.4858 m	1509335.7279 m
VLEZ	34140.6242 m	-6201417.0603 m	1485616.8797 m

3. WGS84 - Coordenadas Geográficas

Nombre de Punto	Latitud	Longitud	Altitud
ACRO	N 13° 42' 33.69317"	O 89° 43' 17.82778"	215.8366 m
ATAL	N 13° 38' 10.48560"	O 89° 47' 39.65198"	95.1820 m
BCHI	N 13° 40' 18.83366"	O 89° 31' 56.85431"	660.6772 m
BCIE	N 13° 32' 18.74559"	O 89° 43' 57.42031"	10.9103 m
BENJ	N 13° 45' 02.17231"	O 89° 35' 43.00341"	569.9027 m
BSIS	N 13° 47' 16.69721"	O 89° 33' 32.61231"	752.7242 m
BUST	N 13° 53' 19.64723"	O 89° 44' 16.60292"	1406.6599 m
BVIE	N 13° 47' 56.44143"	O 89° 41' 45.93149"	654.6760 m
BVIS	N 13° 50' 14.61000"	O 89° 45' 07.59591"	1025.5256 m
CAUT	N 13° 38' 31.46354"	O 89° 54' 30.26212"	2.5231 m
CBAI	N 13° 52' 48.17715"	O 89° 38' 33.02490"	1648.9964 m

CCAR	N 13° 46' 12.71031"	O 89° 39' 08.35389"	631.5517 m
CCLF	N 13° 42' 17.96877"	O 89° 36' 21.37731"	650.0651 m
CEED	N 13° 39' 05.37191"	O 89° 44' 09.48421"	139.0853 m
CEMA	N 13° 39' 54.04440"	O 89° 54' 17.91406"	26.9420 m
CEPE	N 13° 49' 36.03084"	O 89° 33' 45.67272"	1080.2892 m
CLCR	N 13° 38' 00.38129"	O 89° 33' 50.82598"	660.7309 m
CLEN	N 13° 39' 42.98930"	O 89° 38' 32.68330"	415.0235 m
CLLA	N 13° 43' 55.99810"	O 89° 33' 44.07399"	534.3994 m
CLRO	N 13° 37' 14.09243"	O 89° 37' 10.06612"	333.6262 m
CPDC	N 13° 34' 55.58803"	O 89° 37' 02.56611"	155.4101 m
CSUN	N 13° 37' 34.82332"	O 89° 50' 54.16513"	14.8517 m
ENAN	N 13° 42' 24.28821"	O 89° 54' 28.70284"	91.0236 m
EOBR	N 13° 33' 40.98884"	O 89° 45' 04.64006"	22.3300 m
EZOP	N 13° 42' 50.25804"	O 89° 48' 01.12820"	235.2576 m
HECO	N 13° 31' 45.25167"	O 89° 38' 44.44053"	1.9492 m
HEZO	N 13° 34' 18.73918"	O 89° 48' 53.62881"	33.0451 m
HMIR	N 13° 36' 25.32148"	O 89° 46' 14.54129"	92.2931 m
HSIH	N 13° 31' 12.11738"	O 89° 36' 32.97442"	12.8486 m
LEQU	N 13° 34' 42.42335"	O 89° 34' 17.83121"	469.6092 m
LITO	N 13° 34' 10.49824"	O 89° 42' 36.08625"	20.5184 m
NOA1	N 13° 34' 52.21249"	O 89° 49' 57.69770"	17.8304 m
RGUA	N 13° 46' 47.01133"	O 89° 29' 03.11458"	526.7423 m
RLCR	N 13° 41' 42.44576"	O 89° 33' 08.86252"	586.8767 m
ROSA	N 13° 42' 46.13158"	O 89° 45' 55.91940"	271.1472 m
RSJO	N 13° 45' 27.67624"	O 89° 41' 16.11791"	470.7365 m
SALI	N 13° 32' 47.72644"	O 89° 48' 59.71511"	12.2997 m
SALM	N 13° 40' 28.05245"	O 89° 49' 13.74499"	115.7117 m
SJOS	N 13° 50' 30.35725"	O 89° 42' 27.68704"	1085.2855 m
SMAR	N 13° 37' 17.65241"	O 89° 41' 18.59712"	174.7858 m
SPAB	N 13° 49' 58.04191"	O 89° 37' 57.33050"	1812.7293 m
VELE	N 13° 43' 13.30151"	O 89° 40' 10.37929"	399.2416 m
VERA	N 13° 46' 42.05349"	O 89° 46' 14.61699"	671.9993 m
VLEZ	N 13° 33' 33.10391"	O 89° 41' 04.46307"	3.0973 m

4. Coordenadas de Cuadrícula Nacionales

Nombre de Punto	Direc. norte	Direc. este	Altitud	Elevación
ACRO	287635.4260 m	421944.4395 m	215.8366 m	215.9000 m
ATAL	279571.5398 m	414051.0383 m	95.1820 m	95.9187 m
BCHI	283437.6620 m	442395.5906 m	660.6772 m	660.2835 m
BCIE	268740.9628 m	420697.2777 m	10.9103 m	11.8562 m
BENJ	292160.9727 m	435621.2500 m	569.9027 m	569.2987 m
BSIS	296285.7178 m	439547.8693 m	752.7242 m	751.8213 m
BUST	307491.9149 m	420239.4221 m	1406.6599 m	1405.8431 m
BVIE	297545.7876 m	424734.2382 m	654.6760 m	654.1741 m

BVIS	301810.1572 m	418690.6869 m	1025.5256 m	1025.0287 m
CAUT	280259.9095 m	401712.6009 m	2.5231 m	3.7232 m
CBAI	306495.1744 m	430551.9960 m	1648.9964 m	1647.9022 m
CCAR	294344.7081 m	429458.3125 m	631.5517 m	631.0417 m
CCLF	287117.6541 m	434455.7648 m	650.0651 m	649.7283 m
CEED	281238.1611 m	420372.7928 m	139.0853 m	139.5072 m
CEMA	282796.3124 m	402093.2630 m	26.9420 m	28.0121 m
CEPE	300568.5724 m	439165.6108 m	1080.2892 m	1079.2075 m
CLCR	279190.6566 m	438960.7009 m	660.7309 m	660.6320 m
CLEN	282365.1790 m	430497.7861 m	415.0235 m	415.0377 m
CLLA	290118.7473 m	439189.1883 m	534.3994 m	533.7833 m
CLRO	277782.8818 m	432968.7902 m	333.6262 m	333.7737 m
CPDC	273525.8979 m	433183.2902 m	155.4101 m	155.7427 m
CSUN	278495.5672 m	408201.0833 m	14.8517 m	15.8686 m
ENAN	287414.7016 m	401786.4807 m	91.0236 m	91.8887 m
EOBR	271274.6255 m	418684.0450 m	22.3300 m	23.2483 m
EZOP	288171.4226 m	413434.1863 m	235.2576 m	235.6157 m
HECO	267684.6861 m	430105.0383 m	1.9493 m	2.6210 m
HEZO	272457.1545 m	411803.5304 m	33.0451 m	34.1737 m
HMIR	276331.4017 m	416598.6808 m	92.2931 m	93.0762 m
HSIH	266656.1166 m	434055.4770 m	12.8486 m	13.4384 m
LEQU	273109.0881 m	438134.5855 m	469.6092 m	469.8119 m
LITO	272167.9114 m	423152.9306 m	20.5184 m	21.2423 m
NOA1	273492.4244 m	409880.9766 m	17.8304 m	18.9924 m
RGUA	295355.8658 m	447640.5827 m	526.7423 m	525.6768 m
RLCR	286012.0518 m	440237.6100 m	586.8767 m	586.4207 m
ROSA	288032.3625 m	417195.6886 m	271.1472 m	271.3672 m
RSJO	292971.4422 m	425616.5890 m	470.7366 m	470.4199 m
SALI	269660.8553 m	411611.0586 m	12.2997 m	13.5435 m
SALM	283808.6245 m	411237.4996 m	115.7117 m	116.3641 m
SJOS	302279.5194 m	423494.0637 m	1085.2856 m	1084.6022 m
SMAR	277912.6010 m	425498.9965 m	174.7858 m	175.1768 m
SPAB	301263.7910 m	431609.9254 m	1812.7293 m	1811.8333 m
VELE	288836.3503 m	427579.8465 m	399.2416 m	399.0495 m
VERA	295284.3527 m	416657.1539 m	671.9993 m	671.8932 m
VLEZ	271010.7535 m	425904.1766 m	3.0973 m	3.7744 m

ANEXO J

Parámetros de Proyección Cónica Conformal

De Lambert SIRGAS-ES2007

PROYECCION CÓNICA CONFORMAL DE LAMBERT SIRGAS-ES2007

Proyección	Lambert SIRGAS-ES2007
Coordenadas de entrada	Latitud ϕ y longitud λ referida a WGS-84
Elipsoide	WGS-1984/GRS80
Semieje mayor	a= 6378137 m
Semieje menor	b=6356752.31414 m
Achatamiento	1/f=298.257222101
Excentricidad	e ² = 0,0066943800229
Parámetros de la proyección	
Falso Este	500 000,000 m
Falso Norte	295 809,184 m
Paralelo de origen	13° 47' 03.477624" N (valor en SIRGAS)
Meridiano de origen	88° 59' 59.938692" W(valor en SIRGAS)
1. Paralelo estándar	13° 19' 03.477624"N (valor en SIRGAS)
2. Paralelo estándar	14° 15' 03.477624"N (valor en SIRGAS)
Factor de escala en el meridiano oriente	0.99996704
DATUM SIRGAS-ES2007	
Tx= 0 Ty= 0 Tz= 0	

ANEXO K

Glosario Técnico

Acimut: Una observación topográfica utilizada para medir el ángulo formado entre una línea base horizontal y el norte geodésico. Cuando se aplica a observaciones GPS, se refiere a un acimut de sección normal.

Acimut geodésico: El ángulo formado entre el meridiano geodésico y la tangente a la línea geodésica del observador, medido en el plano perpendicular a la perpendicular del elipsoide del observador. Según el sentido de las agujas del reloj desde el norte.

Achatamiento: Una expresión matemática de las longitudes relativas de los ejes mayor y menor de un elipsoide.

Ajuste: El proceso de determinar y aplicar correcciones a observaciones con el fin de reducir errores en un ajuste de la red.

Ajuste de la red: Solución de ecuaciones simultáneas diseñada para lograr el cierre en una red topográfica al minimizar la suma de los cuadrados ponderados de los residuales de las observaciones. En el caso de disponer de observaciones redundantes, pueden ser utilizadas para mejorar los resultados y para investigar la fiabilidad. El ajuste de red calcula coordenadas optimizadas mediante el método de mínimos cuadrados.

Ajuste libre: Realización de un ajuste de la red en el que no hay puntos de control (coordenadas) fijos. El ajuste de la red utiliza puntos de control fijos interiores.

Almanaque: Datos, transmitidos por un satélite GPS, que incluyen información de la órbita de todos los satélites, correcciones horarias, y parámetros de retraso atmosférico. El almanaque facilita la adquisición rápida de SV. La información de órbita es un subconjunto de los datos de efemérides con precisión reducida.

Altura de antena: La altura del centro de fase de la antena GPS sobre el punto que está siendo observado. La altura de antena sin corregir se mide desde el punto

observado a un punto designado de la antena, y a continuación se corrige al valor verdadero vertical manualmente o automáticamente en el software.

Altura elipsoidal: La distancia, medida a lo largo de la perpendicular, desde la superficie del elipsoide a un punto.

Código: El código GPS es un código de ruido pseudoaleatorio (PRN) modulado en las señales portadoras del GPS. El Código C/A no está clasificado y está disponible para utilizar en aplicaciones civiles. El Código P también se conoce y no está clasificado, pero puede estar codificado por razones de defensa nacional. Las mediciones de código son la base del posicionamiento y navegación con GPS. El código también se utiliza en conjunción con las mediciones de fase portadora con el fin de obtener soluciones de línea base con calidad topográfica más precisa.

Código de adquisición (C/A): Un código de ruido pseudoaleatorio (PRN) modulado en una señal L1. Este código ayuda a que el receptor calcule la distancia desde el satélite.

Código P: El código preciso transmitido por los satélites GPS. Cada satélite tiene un código único que se modula en las ondas portadoras L1 y L2. El código P es sustituido por el código Y cuando el anti-espionaje está habilitado.

Código Y: El código Y es la información contenida en el código P adicionalmente codificada. Los satélites transmiten el código Y en lugar del código P cuando el anti espionaje está habilitado.

Constelación: Un conjunto de satélites concreto utilizado para calcular posiciones: tres satélites para fijos 2D, cuatro satélites para fijos 3D. Todos los satélites visibles por un receptor GPS en un momento dado. La constelación óptima es la que tiene el valor PDOP más bajo.

Coordenadas geográficas: Latitud, longitud y altura elipsoidal.

Coordenadas rectangulares: Coordenadas del sistema en que los ejes de referencia se interceptan en ángulos rectos.

Datum: Punto de referencia para la determinación de coordenadas. Hay dos tipos de datums: el horizontal y el vertical. El datum horizontal está constituido por el punto de tangencia entre el elipsoide y el geoide, o dicho de otro modo, el lugar donde coinciden la vertical astronómica (la normal al geoide) y la vertical geodésica (la normal al elipsoide considerado). El datum vertical viene constituido por la superficie de altitudes nulas, que generalmente es el geoide en un punto concreto de la superficie terrestre.

Efecto Doppler: El cambio de frecuencia aparente de una señal causado por el movimiento relativo entre los satélites y el receptor.

Efemérides: Un conjunto de datos que describen la posición de un objeto celestial en función del tiempo. Todos los satélites GPS transmiten periódicamente unas efemérides de emisión que contiene las posiciones predichas en el futuro próximo, cargadas por el segmento de control. Los programas de post-procesamiento también pueden utilizar una efemérides precisa que describe las posiciones exactas de un satélite en el pasado.

Elevación: Distancia medida en el eje Z de una variable con respecto a un datum vertical de origen. Generalmente, esta elevación recibe el nombre de ortométrica y se refiere al nivel medio del mar en alguna parte concreta del globo.

Elipsoide: Superficie de aproximación a la forma de la tierra empleada por los diferentes sistemas cartográficos. Se trata de la mejor forma posible de describir el geoide en términos matemáticos. Dada la complejidad de la forma de la tierra, es imposible tratarla tal como es en realidad con matemáticas, por lo que es necesario reducir su forma principal a una forma geométrica susceptible de ser descrita con números. El elipsoide

es precisamente esa figura de aproximación que permite aplicar los diferentes sistemas de proyección cartográficos.

Elipsoide local: El elipsoide especificado por un sistema de coordenadas. Antes de convertirse a coordenadas de la cuadrícula, las coordenadas WGS-84 se transforman primero a este elipsoide.

Época: El intervalo de medición de un receptor GPS. La época varía en función del tipo de levantamiento:

-Para levantamientos en tiempo real se configura en un segundo.

-Para levantamientos con post-procesamiento puede especificarse en una tasa que varíe entre un segundo y un minuto.

Estación base: Una antena y un receptor instalados en una posición conocida. Se utiliza para levantamientos cinemáticos en tiempo real (RTK) o levantamientos diferenciales. La estación base puede registrar datos para un post-procesamiento posterior. Ejemplos de estación base son las estaciones de referencia de Trimble, como el software Trimble Reference Station (TRS), o el software Trimble Universal Reference Station (URS) y un receptor en modalidad de estación base. En la práctica con GPS, el topógrafo observa y calcula líneas base (es decir, la posición de un receptor relativa a otro). La estación base actúa como la posición a partir de la cual se derivan todas las otras posiciones.

Estación de referencia: Es un punto fijo cuando se utiliza para el procesamiento. Las estaciones de referencia con coordenadas conocidas mejoran considerablemente los resultados del estimador de la línea-base.

GNSS (Global Navigation Satellite System): Sistema Global de Navegación por Satélite, es una constelación de satélites que transmite rangos de señales utilizados para el posicionamiento y localización en cualquier parte del globo terrestre, ya sea en tierra, mar o aire.

Geodesia: Ciencia que estudia la forma y dimensiones del planeta tierra desde una perspectiva geométrica y matemática.

Geoide: Figura de aproximación irregular que trata de ajustarse a la forma de la tierra. El geoide se puede definir como la superficie equipotencial definida por los mares en calma prolongados por debajo de los continentes. Equipotencial significa que en todos sus puntos la vertical astronómica (dirección que siguen los objetos que caen atraídos por la gravedad) es normal (perpendicular) al geoide. Debido a las variaciones en los materiales que componen la superficie, la densidad de la tierra no es uniforme en todos sus puntos, y ello provoca que el geoide tienda a ser más alto en las zonas continentales que en los océanos, presentándose suaves depresiones y abultamientos en varias regiones del globo. Por esa razón es tan importante para la geodesia la disciplina de la gravimetría, pues es imprescindible para un conocimiento preciso del geoide. Para terminar, hay que decir que el geoide es, como se ha dicho, una aproximación irregular que en su forma general no permite ser reducida a parámetros geométricos tratables por los sistemas de proyección cartográficos; por ello, en cartografía se busca una segunda superficie de aproximación más regular que es la que tiende a replicar al geoide, y sobre la que trabajan los sistemas de proyección: el elipsoide.

Geometría del satélite: Posición y movimiento de satélites GPS durante un levantamiento GPS.

GPS (Global Positioning System): Sistema de posicionamiento global. Sistema que permite a un usuario dotado del correspondiente receptor, conocer su ubicación espacial con precisión en cualquier parte del globo y en tiempo real. El sistema se basa en una órbita de satélites alrededor de la tierra que emiten una señal de radio; esta señal es captada por el receptor del usuario, el cual calcula la posición por trilateración. El cálculo de la posición es posible porque se conocen con exactitud la posición de los satélites, las características de la señal de radio y el tiempo que tardan las señales en llegar al usuario. El sistema GPS fue creado con fines militares por el Defensa Estadounidense, quien se encarga de su mantenimiento.

Interfaz: La conexión funcional entre dos sistemas, programas, dispositivos o componentes de cualquier tipo, que proporciona una comunicación de distintos niveles permitiendo el intercambio de información.

Intervalo de época: El intervalo de medición utilizado por un receptor GPS; también se denomina ciclo.

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

Línea base GPS: Una medición tridimensional entre un par de estaciones para las que se han capturado y procesado con técnicas de diferenciación datos GPS simultáneos. Representado como incremento X, incremento Y, e incremento Z; o acimut, distancia, e incremento de altura.

Línea base redundantes: La línea base observada de un punto que ya ha sido conectada a la red por otras observaciones. Una línea de base redundante puede ser

una re observación independiente de una medición anterior, o la observación de un punto desde otra base. Es redundante porque proporciona más información de la necesaria simplemente para determinar un punto. Sin embargo, las observaciones redundantes son muy útiles para comprobar la calidad de mediciones anteriores.

Modelo de Molodensky: Es un método de transformación de coordenadas pertenecientes a diferentes Datum.

NAD 27 (North American Datum 1927): Datum norteamericano 1927, dicho datum tiene su origen cerca del centro geométrico de los Estados Unidos, en Meades Ranch (Kansas), el elipsoide asociado es el Clark 1866 y este datum tiene cobertura en Norte América, Centro América y Panamá.

Nivel medio del mar: La altura media de la superficie del océano para todas las etapas de marea. Utilizado como referencia para las elevaciones.

Observaciones GPS: Una línea base GPS con errores asociados. A medida que el ajuste progresa, las observaciones se convierten en observaciones GPS ajustadas.

Postproceso: Procesamiento de los datos de satélite en una computadora después de su captura.

Red geodésica nacional: Conjunto de puntos situados sobre el terreno, dentro del ámbito del territorio nacional, establecidos físicamente mediante monumentos o marcas físicas más o menos permanentes, sobre los cuales se han hecho medidas directas y de apoyo de parámetros físicos, que permiten su interconexión y la determinación de su posición y altura o del campo gravimétrico asociado, con relación al sistema de referencia considerado.

Sesión: Periodo durante el cual uno o más receptores GPS registran datos de medición del satélite.

SIRGAS: Es el Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas, y como sistema de referencia se define idéntico al Sistema Internacional de Referencia Terrestre ITRS y su realización es la densificación regional del marco global de referencia terrestre ITRF en América Latina y El Caribe.

Software Geographic Calculator: Es una herramienta que proporciona una plataforma única para la transformación de coordenadas de alta precisión de prácticamente cualquier tipo de datos geoespaciales. Esta herramienta es usualmente utilizada para la transformación de coordenadas geográficas a coordenadas planas y viceversa.

Topografía: Ciencia que estudia los métodos e instrumentos necesarios para la medición y representación precisas de la superficie terrestre a escala de detalle.

UTM (Universal Transverse Mercator System): El sistema de coordenadas universal transversal de Mercator, es un sistema de coordenadas basado en la proyección cartográfica transversa de Mercator, que se construye como la proyección de Mercator normal, pero en vez de hacerla tangente al Ecuador, se la hace secante a un meridiano.

Vértice: Par de coordenadas X,Y ó X,Y,Z que se sitúan entre los nodos origen y final de una polilínea. Las polilíneas (o arcos) están por tanto formadas por un nodo origen, otro nodo destino y una serie de vértices que definen su forma situados entre ambos.

Vértice Geodésico: Hormigón ubicado en el terreno de dimensiones variables que suele estar formado por un dado de hormigón de 1 metro cúbico sobre el que se levanta un cilindro también de hormigón de 1'2 m de altura y 30 cm de sección. Estos vértices sirven de encuadre referencial geodésico para la cartografía de nueva creación, al conocerse con precisión las coordenadas del centro del plano superior del cilindro de

hormigón. Se utilizan como base para situar los distintos aparatos topográficos o geodésicos (teodolitos, geodímetros, GPS, estaciones totales, etc.) y realizar las mediciones en consecuencia. Tienen la característica de que poseen intervisibilidad con dos o más vértices de la misma red.

WGS84: World Geodetic System 1984; Sistema geodésico mundial de 1984. Sistema de referencia geodésico de carácter geocéntrico desarrollado por la Defense Mapping Agency (DMA, ahora llamada NIMA), en 1984. Es el sistema de referencia utilizado por el sistema GPS y dado su carácter global que le hace aplicable en todas las partes del planeta, se ha convertido en un sistema de referencia para el paso de cartografía de un datum a otro (utilizando WGS84 como puente).

X, Y y Z : En un sistema cartesiano centrado en la Tierra, la X se refiere a la dirección del eje de coordenadas que va desde el origen del sistema al meridiano de Greenwich; Y al eje que va desde el origen 90° al este del meridiano de longitud, y Z al polo. En los sistemas de coordenadas rectangulares, X se refiere al eje este-oeste, Y al eje norte-sur, y Z al eje de altura.