

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



**ESTABLECIMIENTO DE UNA ESTACIÓN GPS PERMANENTE
EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA DE LA
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

PRESENTADO POR:

**ERICK BLADIMIR, SÁNCHEZ JIMÉNEZ
STEFANI YAMILETH, VARELA SANABRIA
MERCY MARISOL, VÁSQUEZ ARENIVAR**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

INGENIERO CIVIL

CIUDAD UNIVERSITARIA, MAYO DE 2023

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR

:

MSc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO

SECRETARIO GENERAL:

ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

DECANO

:

PhD. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA

SECRETARIO

:

ING. JULIO ALBERTO PORTILLO

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL

DIRECTOR

:

ING. FREDY FABRICIO ORELLANA CALDERON

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 :

**ESTABLECIMIENTO DE UNA ESTACIÓN GPS PERMANENTE
EN LA FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA DE LA
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

Presentado por :

**ERICK BLADIMIR, SÁNCHEZ JIMÉNEZ
STEFANI YAMILETH, VARELA SANABRIA
MERCY MARISOL, VÁSQUEZ ARENIVAR**

Trabajo de Graduación Aprobado por :

Docente Asesor:

ING. WILFREDO AMAYA ZELAYA

San Salvador, mayo de 2023

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor:

ING. WILFREDO AMAYA ZELAYA

AGRADECIMIENTOS

Especial reconocimiento merece Dios, quien con su bendición ha llenado siempre nuestras vidas, y a nuestras familias por estar siempre presentes.

Así mismo, deseamos expresar nuestro profundo agradecimiento al asesor de tesis Ingeniero Wilfredo Amaya Zelaya, por su dedicación, apoyo y motivación brindada, sin sus palabras y correcciones precisas no hubiésemos podido llegar a esta instancia tan anhelada, gracias por la confianza depositada al grupo de trabajo.

Al personal docente quienes nos han permitido finalizar nuestra carrera, a todos ellos les queremos agradecer por transmitirnos los conocimientos necesarios para hoy estar aquí.

Además, a nuestros compañeros, agradecerles a todos aquellos que se han convertido en amigos, cómplices y hermanos(as), gracias por las horas compartidas, los trabajos realizados en conjunto y las historias vividas.

Por último, agradecer a la Universidad de El Salvador, ya que nos ha exigido tanto, pero al mismo tiempo nos ha permitido obtener el tan ansiado título. Agradecemos a cada directivo por su trabajo y por su gestión, sin lo cual no estarían las bases ni las condiciones para aprender conocimientos y formar excelentes profesionales.

Esperamos que este trabajo de graduación sea un legado que perdure por muchas generaciones.

DEDICATORIA

Este trabajo es dedicado principalmente a Dios, nuestro creador, que me ha guiado, me ha dado la fortaleza y permitido llegar hasta este momento tan importante de mi formación profesional.

A mi madre, Martha Lidia Sánchez Jiménez, una mujer ejemplar, valiente y luchadora que tuvo que salir del país para buscar mejores condiciones y poder sacar adelante a mis hermanos y a mí, que a pesar de la distancia siempre está pendiente y que gracias a su esfuerzo he podido conseguir este y muchos logros más, por sus consejos, por sus oraciones, por brindarme su amor de madre.

A mis hermanos Jossue y Daniela, porque siempre que los he necesitado ellos han estado ahí, al igual que yo siempre estoy cuando ellos me necesitan, por ser mis amigos, confidentes y compañeros de vida a quienes les deseo lo mejor, porque, así como yo he conseguido este logro, quiero que ellos puedan cumplir sus metas.

A mis tíos, Rosa Sánchez y Edwin Arias mis segundos padres, por cuidar de mí, que desde pequeño me han acompañado en todo proceso, que nunca perdieron la fe en mí, por esos valiosos y sabios consejos que necesité en muchas ocasiones y cuyas palabras me ayudaron a tomar las mejores decisiones.

A la Asociación de Reconstrucción y Desarrollo Municipal (ARDM), por otorgarme una beca, por brindarme la oportunidad de continuar con mis estudios, por la confianza que depositaron en mí, pero además no solo quiero agradecer por la ayuda económica, que, por supuesto ha sido de gran ayuda, si no por el

hecho de verme beneficiado de una ONG que pretende brindar un futuro mejor a los estudiantes.

A mis compañeras de trabajo de tesis Stefani y en especial a Mercy que ha sido como mi hermana, con quien siempre compartimos y apoyamos para poder sobrellevar cada obstáculo y dificultad que se nos presentaban en momentos cruciales del ciclo y poder llegar juntos a la meta, hoy con mucha alegría puedo decirte, ¡Si se pudo!

Todas las personas que de una manera desinteresada me apoyaron, mi familia, amigos, compañeros de la universidad, a cada uno de los maestros y los que aún me siguen apoyando, ¡Gracias totales!

Erick Bladimir Sánchez Jiménez

DEDICATORIA

Este logro lo dedico primordialmente a Dios por permitirme llegar hasta este momento, donde se marca una nueva línea de metas por cumplir y retos que superar.

A mi mamá Vilma Sanabria que ha sido mi motor y siempre estuvo para apoyarme en momentos de alegría y sobre todo en momentos de tristeza, que siempre estaba ahí para animarme y darme su amor y sus palabras e incluso su compañía en desvelos y sin falta sus abrazos para poder seguir, las veces que madrugaba para acompañarme a la terminal, agradezco su esfuerzo, dedicación y sacrificio, la amo y este logro es de ella y ha sido posible gracias a que siempre creyó en mí.

A mis hermanos Patricia Varela y Luis Varela que siempre tuve su apoyo y cariño, especialmente mi hermana que siempre estuvo ahí para sacarme una sonrisa cuando la necesitaba o incluso “celebrar a lo grande” los pequeños logros y esfuerzos realizados, su compañía siempre fue un pilar para seguir y lograr esta meta, a mi hermano por siempre darme apoyo y hacerme sentir tranquila y animarme a seguir haciéndome sentir que sea lo que resultara siempre estaría ahí para mí. Los dos han sido mi apoyo y sé que compartimos esta alegría juntos, este título también es de ustedes, los amo y gracias por ser mi motivación e inspiración.

Para mi papá Luis Varela que sé que con su esfuerzo hizo que fuera posible y que con su aporte puedo decir que ¡Lo logramos! Gracias por todo su apoyo y cariño, lo amo.

A mis primas Margarita y Vanessa que siempre me tuvieron presente en sus oraciones y por el apoyo a pesar de no estar cerca siempre sentí el apoyo y cariño con el que me motivaban a seguir adelante.

A toda la familia Sanabria que siempre me brindo esa cálida acogida en los momentos que los necesitaba al igual que las palabras de ánimo, especialmente a mi tía Mari que me daba sus abrazos y palabras de motivación, mi tío Walter que siempre ha estado presente para nosotros como un segundo papá, mi abuela Margarita que sin darse cuenta hace que queramos dar más de lo que ya se hace, mi tío Oscar que con sus preguntas cada fin de semana de cómo me ha ido da a conocer que está pendiente.

Esto va para mi mejor amigo Javier Alas que desde hace años se convirtió en mi hermano, es una de las muchas cosas que me ha dejado la universidad, agradezco todo el apoyo que me ha brindado y que lo sigue haciendo, gracias por todas las risas y compañía en tristezas y alegrías, gracias por creer en mí.

Al grupo “Los de siempre” Ramon Ramos y Melvin Rodríguez por ser compañeros y amigos en este camino ¡Si se pudo!, gracias por todo lo aprendido y el apoyo.

A mis amigos Gloria González, Fátima Cuellar, Iván Hernández, Walter Tobar,

Mauricio Solórzano, Álvaro Rosales, Cristian Aguilar, Edwin Nájera, Adonay Melgar, gracias a todos por su apoyo y ayuda en este camino.

Especialmente a mis compañeros de tesis: Erick, gracias por toda la ayuda y apoyo para poder finalizar con éxito este trabajo, Mercy que sin ella no habría sido posible este trabajo, por la amistad y apoyo recibido durante todo este tiempo y la carrera, por compartir conmigo tristezas y alegría, por todos esos momentos de risa juntas.

Al Ingeniero Wilfredo Amaya por su orientación y coordinación en este trabajo de graduación.

A todos los que conocí en este camino y que no han sido mencionados. ¡Gracias!

Stefani Yamileth Varela Sanabria

DEDICATORIA

Una etapa en mi vida está por finalizar y no quisiera que concluyera sin antes recordar y agradecer a todos los que estuvieron conmigo apoyándome y dándome fuerza para continuar.

Mamá y papá, primeramente quiero darles las gracias por la confianza depositada, gracias por el compromiso de nunca faltar mi vida, gracias por sus sabios consejos y sus enseñanzas, gracias a ustedes que desde mi primer año de estudio supieron que lograría todo lo que me propondría, gracias mamá, porque me hiciste una mujer independiente desde pequeña, gracias por el amor infinito que me das, por tu bondad, tu paciencia y por tu hermosa sonrisa que siempre me recibía en los mejores y difíciles momentos, gracias por toda la dedicación que has tenido conmigo, espero ser una excelente madre como tú lo eres, gracias papá por nunca faltar, por cuidarme, por escucharme, por todo el sacrificio que realizaste (desde antes que naciera hasta hoy), ya que todo el camino que recorriste te llevó hacia tu destino y en ese destino estaba yo, tú hija, gracias por alentarme cuando no podía más, por lo fines de semana que sabias que no quería irme para San Salvador y sin lugar a dudas me ibas a dejar a Sensuntepeque a las 3.00 am para poder subirme al primer bus y llegar a tiempo a mis clases, jamás olvidaré todo lo que has hecho por mí; gracias mamá y papá por ser el mejor ejemplo a seguir, para ustedes con mucho amor les dedico este logro, ¡Nuestro logro, el logro de la Familia Vásquez Arenivar!.

A mi vínculo irrompible, mi familia, no fue fácil el camino para llegar hasta donde estoy, pero gracias a su apoyo, a su amor incondicional, a su enorme amabilidad y acompañamiento, lo difícil se hizo más fácil, les agradezco, y hago eco de mi enorme aprecio hacia ustedes, mi hermosa familia.

A Karla Arenivar, Marlene Arenivar, ¿Qué podría hacer sin ustedes?, más que mi prima y tía, son mi hermana y mi segunda madre, gracias por recibirme y darme un segundo hogar acá en San Salvador, hicieron que la lejanía de mi hogar fuera más tolerable, gracias por enseñarme a adaptarme a una ciudad que no conocía, ya que todo para mí era nuevo, gracias por acobijarme cuando más lo necesitaba y por forjar parte de mi camino, sin ustedes no lo hubiese logrado.

A mi compañero de clases, Alberto Oviedo, él que un día conocí en la clase de económica, y quién más adelante se convirtió en mi amigo, mi confidente y mi amor, quiero dedicarle estas palabras de agradecimiento y de amor, por ser mi apoyo incondicional. Gracias por ser mi luz en los momentos más oscuros, por ser mi alegría en los momentos más felices, y por estar a mi lado siempre, sin importar las circunstancias. Gracias por ser mi motivación, mi inspiración, y por creer en mí incluso cuando yo misma dudaba. Este logro es también tuyo, porque tú me has ayudado a crecer, a aprender, y a desarrollar mi potencial al máximo. Te amo con todo mi ser y siempre estaré agradecida por todo lo que has hecho por mí.

A mi amiga y compañera de tesis, Stefani Varela, deseo expresar mi más profundo agradecimiento por su amistad, apoyo y motivación, gracias por cada

momento de risa que no faltó durante estos años y durante el desarrollo de esta tesis, gracias por dar lo mejor de ti.

A mi amigo y compañero de tesis Erick Sánchez, ¡Lo logramos!, ¿Te recuerdas cuando éramos Camila, May, Erika, Luis, Edgardo, Jeimy e Isamar?, jamás imaginamos que vos y yo haríamos grupo de tesis, me da tanta nostalgia recordar los buenos momentos que pasamos, éramos los foráneos, los que siempre corrían por irse para Cabañas, ¡Pero que buen viaje pasamos!, gracias por ser un amigo que siempre ha estado y sin contar los maratones que pasábamos antes de los exámenes con Esmeralda, Maurilio, Manuel, Gustavo, Sandra, Vania, siempre estarán en mi corazones, agradezco a Dios por sus vidas y por haber sido parte de mi vida en la Universidad de El Salvador, estaré siempre para ustedes.

Gracias a todos los que soñaron conmigo, los amo.

Mercy Marisol Vásquez Arenivar

RESUMEN

En el trabajo siguiente se desarrolla el establecimiento de una estación GPS permanente en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador, esta estación GPS permanente se encuentra constituida por una antena que es la encargada de recibir las señales, por un receptor GPS que registra datos satelitales en forma continua (las 24 horas del día durante todo el año), estos datos crudos se almacenan y manipulan en un computador con un software especializado; la calidad de los datos depende de ciertos requerimientos que se deben cumplir entre los más importantes cabe resaltar: la infraestructura y ubicación adecuada de la estación GPS que para nuestro caso se utilizó una estructura de acero de hierro galvanizado empotrado con pernos sobre el alero de concreto reforzado que se encuentra en la escuela de Ingeniería Civil, tomando en cuenta su conectividad con los satélites donde se considera una vista amplia del cielo sin obstrucciones sobre un ángulo de inclinación de 10-15 grados, la distancia de antena y receptor menor a 30 metros, etc.

Ya instalada la estación GPS permanente, los datos crudos se almacenan y actualizan cada 24 horas, estos datos recolectados por la estación se suben al Google Drive por medio de un correo institucional, donde fue necesario solicitar este a la Universidad de El Salvador, para la descarga de datos solo será necesario contar con un correo institucional e ingresar al enlace:

<https://drive.google.com/drive/folders/1--D8MxJgsZY81WE->

[J67aKVoUVbDC8vEW?usp=sharing](https://drive.google.com/drive/folders/1--D8MxJgsZY81WE-J67aKVoUVbDC8vEW?usp=sharing)., y en caso de no contar con correo

institucional tendrá que solicitar el acceso y esperar a que este sea aceptado para realizar la descarga. Al ingresar al drive los datos crudos se visualizarán con su descripción, el nombre de cada dato donde los primeros dos dígitos son el año, los siguientes dos son el mes y los siguientes son el día y los últimos indican la hora. Algunas de las aplicaciones de las estaciones de referencia incluyen las áreas de geodinámica, geomática, obras civiles, hidrografía, deformaciones de estructuras y hundimientos, navegación marítima y terrestre, fotogrametría, control medio ambiental, topografía, geodesia, y muchas más aplicaciones que serán de gran beneficio principalmente para los estudiantes de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura y público en general que necesite esta información.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	V
DEDICATORIA	VI
RESUMEN.....	XIV
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XXI
ÍNDICE DE TABLAS	XXV
INTRODUCCIÓN.....	XXVI
CAPÍTULO I GENERALIDADES.....	1
1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Planteamiento del problema	4
1.3 Objetivos.....	5
1.4 Alcances	6
1.5 Limitaciones.....	6
1.6 Justificación	8
CAPÍTULO II SISTEMAS DE COORNEDADAS.....	9
2.1 SISTEMAS DE COORDENADAS.....	10
2.1.1 Coordenadas Geográficas	11
2.2 Coordenadas Planas	18

CAPÍTULO III SISTEMA DE REFERENCIA GEODÉSICO.....	19
3.1 SISTEMA DE REFERENCIA GEODÉSICO	20
3.1.1 Sistema de referencia global.....	21
3.1.2 Elipsoide WGS-84.....	21
3.1.3 Datum WGS-84.....	24
3.2 Sistema de Referencia Local.....	31
3.2.1 Elipsoide Clarke 1866	33
3.2.2 Datum NAD27	34
3.2.2.1 Datum Horizontal.....	34
3.2.2.2 Datum Vertical.....	40
3.3 Sistema de Referencia Local Moderno.....	44
3.3.1 Elipsoide WGS-84/GRS80/SIRGAS-ES2007	46
3.3.2 Datum WGS84	52
3.4 Proyección Cartográfica.....	53
3.4.1 Proyección Universal Transversal de Mercator.....	63
3.4.2 Proyección Cónica Conformal de Lambert.....	75
3.4.3 Utilización de Proyección Cónica Conformal de Lambert en El Salvador.....	79

3.4.3.1	Proyección Cónica Conformal de Lambert asociada al Datum NAD27.	79
3.4.3.2	Proyección Cónica Conformal de Lambert asociada al Datum SIRGAS-ES2007.....	80
CAPÍTULO IV SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL.....		84
4.1	SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL.....	85
4.1.1	Antecedentes del GPS.....	86
4.1.2	Segmentos del GPS.....	89
4.1.3	Equipos Geodésicos.....	100
4.1.4	Fuentes de errores en las mediciones geodésicas.....	102
CAPÍTULO V SERVICIOS DE POSICIONAMIENTO EN LÍNEA.....		104
5.1	SERVICIOS DE POSICIONAMIENTO EN LÍNEA.....	105
5.1.1	Fundamentos.....	105
5.1.2	Tipos de servicios.....	107
5.2	Posicionamiento diferencial o relativo.....	107
5.3	Posicionamiento puntual preciso (PPP).....	109
5.4	Aprovechamiento de los servicios de posicionamiento en línea.....	111
5.5	Estaciones de referencia de operación continua (CORS).....	112
5.5.1	Antecedentes de las estaciones CORS.....	117

5.5.2	Especificaciones mínimas para su establecimiento	123
5.5.3	Protocolos de comunicación en línea.....	124
5.5.4	Estaciones CORS en el mundo.....	126
5.5.5	Estaciones CORS en Centro América.....	128
5.5.6	Estaciones CORS en El Salvador	132
CAPÍTULO VI ESTABLECIMIENTO DE ESTACIÓN GPS PERMANENTE		135
6.1	Gestión para utilizar GPS como base	136
6.2	Reconocimiento del sitio a elegir	136
6.2.1	Requerimientos mínimos para recepción satelital	136
6.2.2	Solicitud de permisos de instalación	138
6.3	Instalación de la estructura GPS.	138
6.4	Instalación de antena GPS y Receptor.....	141
6.5	Gestión de equipos informáticos.....	152
6.6	Configuración del Software en el Equipo Informático.	153
6.7	Configuración de protocolos de comunicación	158
6.8	Descarga y monitoreo de datos crudos	176
6.8.1	Coordenada de Estación Permanente FIA-UES	178
CAPÍTULO VII CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		180
7.1	Conclusiones	181

7.2 Recomendaciones	182
Bibliografía	184
ANEXOS	191
Anexo A.....	192

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Hemisferios y línea de referencia Ecuador.	13
Figura 2.2 Meridianos.	15
Figura 2.3 Eje Polar.	16
Figura 2.4 Meridiano de Referencia.	17
Figura 3.1 Semieje mayor y menor.	23
Figura 3.2 El Geoide.	27
Figura 3.3 El Geoide y Elipsoide.	28
Figura 3.4 Punto tangente donde coincide el Geoide con el Elipsoide.	29
Figura 3.5 Sistema de Referencia Local y Geocéntrico.	32
Figura 3.6 Forma Elipsoidal.	33
Figura 3.7 Placa en Meadles Ranch.	35
Figura 3.8 Datum NAD27.	36
Figura 3.9 Estación de Triangulación Meades Ranch E.U.	38
Figura 3.10 Nivel medio del mar como superficie de referencia.	40
Figura 3.11 Banco de marca.	41
Figura 3.12 Datum vertical.	42
Figura 3.13 Red Nacional de Niveles, Datum La Unión.	43
Figura 3.14 Sistema Internacional de Referencia Terrestre.	44
Figura 3.15 Red Geodésica Básica de El Salvador.	51
Figura 3.16 Estaciones de Referencia de la Red SIRGAS 2000.	52
Figura 3.17 Ubicación del Datum WGS-84.	53

Figura 3.18 Cartografía.....	54
Figura 3.19 Proyecciones Cartográficas.....	56
Figura 3.20 Proyección Cilíndrica.....	57
Figura 3.21 Proyección Cónica.....	58
Figura 3.22 Proyección Azimutal.....	59
Figura 3.23 Clasificación de las Proyecciones.....	60
Figura 3.24 Proyecciones.....	61
Figura 3.25 Proyección Cilíndrica.....	68
Figura 3.26 UTM Distorsión.....	69
Figura 3.27 Cuadrícula Husos UTM.....	71
Figura 3.28 Geometría del huso y ejes cartesianos.....	74
Figura 3.29 Cónica Conforme Lambert.....	77
Figura 4.1 Sector Espacial GPS, en su probable fase final, con el establecimiento de 24 satélites.....	91
Figura 4.2 Estaciones de control.....	93
Figura 4.3 Estaciones de Control actualizado.....	93
Figura 4.4 División Usuario.....	97
Figura 4.5 Segmento GPS.....	100
Figura 4.6 Equipos Geodésicos.....	101
Figura 4.7 Errores Geodésicos.....	103
Figura 5.1 Funcionamiento básico de servicios de posicionamiento en línea..	107
Figura 5.2 Método de Posicionamiento Diferencial o Relativo.....	109

Figura 5.3 : Método de Posicionamiento Puntual Preciso.....	111
Figura 5.4 Como funcionan la CORS.....	115
Figura 5.5 Propuesta de estaciones CORS.	121
Figura 5.6 Red CORS en la actualidad.....	122
Figura 5.7 Estaciones CORS en el mundo.	127
Figura 5.8 Estación CORS Centroamérica.	129
Figura 5.9 : Estaciones CORS en Guatemala.	130
Figura 5.10 Ubicación de las estaciones CORS: Lorenzo (SLOR), Tela y Tegucigalpa (TEG-I).	130
Figura 5.11 Estaciones CORS de managua.	132
Figura 5.12 Red de referencia salvadoreña.....	134
Figura 6.1 Antena sobre el alero en la parte central de la escuela de Ingeniería Civil.	139
Figura 6.2 Estructura de acero nivelada.	140
Figura 6.3 Anclaje por medio de abrazaderas empotradas con pernos sobre alero y apoyada sobre el suelo.	141
Figura 6.4 Antena PG-A1 Topcon.....	142
Figura 6.5 Antena nivelada y enroscada sobre estructura de acero.....	144
Figura 6.6 Extremo de cable coaxial conectada sobre antena.	145
Figura 6.7 Receptor GB-1000 Topcon.....	146
Figura 6.8 Receptor GB-1000 Topcon.....	148

Figura 6.9 Receptor conectado a la fuente de energía, a la PC y a la antena GPS.	149
Figura 6.10 Cable de comunicación tipo RS 232 que conecta el receptor con la PC.....	150
Figura 6.11 Receptor instalado.....	150
Figura 6.12 Equipo informático instalado a la estación GPS permanente.	151
Figura 6.13 Equipo informático para estación GPS permanente.	153
Figura 6.14 Vista de datos crudos en drive.....	177
Figura 6.15 Medición GPS en vértice Soledad.	178
Figura 6.16 Medición GPS en vértice Panorámico.	179

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1 Elipsoides utilizados en el mundo y sus parámetros.....	24
Tabla 3.2 Elipsoides y Datum.	39
Tabla 3.3 Zonas y Husos.	72
Tabla 3.4 Proyección cónica Conformal de LAMBERT NAD 27	79
Tabla 3.5 Proyección cónica Conformal de LAMBERT SIRGAS-ES2007.	80
Tabla 3.6 Cónica Conforme Lambert	83
Tabla 5.1 Ventajas y desventajas de las CORS.	117
Tabla 6.1 Especificaciones de la Antena PG-A1 Topcon.....	143

INTRODUCCIÓN.

En este trabajo se pretende desarrollar los conceptos básicos de la Geodesia, los cuales representan las bases fundamentales de la temática de este trabajo y es de suma importancia su conocimiento, dentro de los temas veremos los sistemas de coordenadas, sistemas de referencia geodésicos, sistema de posicionamiento global y los servicios de posicionamiento en línea; estas bases teóricas nos ayudarán a comprender de mejor manera el funcionamiento, la aplicación y el propósito del establecimiento de una estación GPS permanente en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador.

Luego de conocer los conceptos necesarios, se procede a describir el establecimiento de la estación GPS permanente, iniciando con la gestión para la utilización de la estación, luego con la descripción y función de cada uno de los componentes de la estación permanente, el reconocimiento del sitio que cumpla con los requerimientos mínimos según el Sistema de Referencia Geodésico para las Américas (SIRGAS), los permisos de autorización, para luego dar paso a la instalación de la estructura o monumentación que debe cumplir una serie de características óptimas y parámetros que la afectan, al igual que los receptores también la antena debe cumplir ciertas normas y especificaciones dadas por la red SIRGAS.

Seguidamente se explica el funcionamiento de la estación permanente en donde el equipo informático recopilará constantemente los datos, se verificará la calidad de estos, a un formato convencional, donde se almacenará la información

y se distribuirá mediante el uso de un servidor de Internet. Este proceso se realizará mediante un software de control instalado en un computador que funcionará de forma permanente para el uso de la Universidad de El Salvador. Estos datos crudos podrán descargarse y ser monitoreados para ser utilizados por todo el público en general de forma gratuita en especial a los estudiantes de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura para las diferentes mediciones ya sean topográficas o geodésicas.

CAPÍTULO I GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

En El Salvador, por su situación geográfica y geológica en América Central, son comunes los fenómenos sísmicos y atmosféricos, que causan a veces grandes pérdidas humanas y materiales. Las tormentas tropicales y los huracanes suelen desencadenar intensas lluvias, sobre todo de julio a octubre, que en ocasiones rebasan la capacidad de absorción de suelos y laderas, principalmente en las cuencas hidrográficas de las vertientes del Pacífico. Son una amenaza permanente por los graves daños que provocan los desbordes de los ríos Lempa y Grande de San Miguel en las poblaciones ribereñas.

La deforestación, las técnicas inapropiadas de uso del suelo y el manejo desordenado de las cuencas hidrográficas contribuyen a la degradación ambiental en esas zonas. A raíz de los daños causados por el Huracán Mitch en Centro América en 1998, El Departamento de Comercio (Department of Commerce, DOC) de Estados Unidos crea el programa de ayuda titulado Plan para el trabajo de Reconstrucción en Central América (Implementation Plan for Reconstruction Work in Central America) fechado en julio de 1999, el Servicio Geodésico Nacional (National Geodetic Survey, NGS) está encargado de desarrollar un marco moderno de referencia geodésica con precisión adecuada para la navegación terrestre, marítima y aérea; trabajos de cartografía y topografía; catálogo o inventario de recursos naturales; operaciones de socorro en todo tipo de desastres; levantamientos de ingeniería y catastro; y aplicaciones del Sistemas de Información Geográfica (SIG).

El diseño de este marco geodésico copiará, a ser posible, varios elementos del Sistema Espacial de Referencia Nacional en EE. UU. (U.S. National Spatial Reference System, NSRS) incluyendo Estaciones de Referencia de Operación Continua (Continuously Operating Reference Stations, CORS) una Red de Referencia de Gran Exactitud (High Accuracy Reference Network, HARN), observaciones de gravedad absoluta y la transferencia de tecnología para asegurar la continuidad de esta infraestructura. Toda esta información formará parte de un conglomerado denominado Red Inter-Americana de Datos Espaciales (Inter-American Geospatial Data Network, IGDN).

El establecimiento de las Estaciones de Referencia de Operación Continua se dio a partir de los desastres ocasionados por la Huracán Mitch, y estas fueron: Guatemala: En el año 2000 fue instalada la CORS Guatemala City (GUAT). Empezando a funcionar en el mismo año y siendo supervisada y certificada por la NOAA, integrada a la Red Global NGS y en el 2002 fueron instaladas las CORS Santa Elena (ELEN) IGS y Huehuetenango (HUEH). Integrada a la Red Global NGS. Honduras: en el año 2000 Tegucigalpa (TEG1), Tela y San Lorenzo (SLOR). Nicaragua: MANA fue establecida en el año 2000. El Salvador: En el año 2001 se estableció la primera estación de Referencia de operación Continua, llamada San Salvador Aeropuerto de Ilopango (SSIA), por el NGS y el Instituto Geográfico Nacional.

1.2 Planteamiento del problema

Las estaciones permanentes en El Salvador son administradas por entidades de gobierno, entre ellas: el Centro Nacional de Registro, Ministerio de Medio Ambiente, Ministerio de Obras Públicas y empresas privadas.

Las estaciones permanentes existentes en El Salvador no son de uso público, y las que se encuentran a disposición son de difícil acceso, no se encuentran en línea, o se requiere cancelar un valor monetario.

Por lo tanto, en este trabajo de graduación se establecerá una estación permanente en la Universidad de El Salvador, que le permita al público en general, a entidades del gobierno, entre otros, acceso de forma gratuita a descarga de datos de un servidor para ser utilizados en trabajos topográficos y geodésicos; especialmente a los estudiantes de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, para sus prácticas de Topografía, también para los estudiantes que optan por la Técnica electiva GPS¹ y los estudiantes egresados en el curso de especialización o para trabajos que requiera la Universidad de El Salvador.

¹ *Sistema de Posicionamiento Global*

1.3 Objetivos

Objetivo General

- Establecer una Estación GPS Permanente en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador.

Objetivos específicos

- Obtener datos crudos en los diferentes formatos GPS para ser utilizados en mediciones topográficas y/o geodésicas.
- Realizar una base de datos con información actualizada obtenida por medio de la estación GPS permanente a un sitio FTP (protocolo para transferir tipos de archivos entre equipos conectados a una red) para el uso de la Universidad de El Salvador.
- Dar libre acceso al servidor en línea, dentro del campus de la Universidad de El Salvador, para descarga de datos de la estación permanente y ser utilizados por organismos institucionales de Norte y Suramérica para el cálculo de desplazamiento de coordenadas en las placas tectónicas, posterior a un terremoto.
- Obtención de la coordenada fija de la Estación Permanente GPS de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura en la Universidad de El Salvador.

1.4 Alcances

- Determinar el sitio idóneo para la instalación de la estación GPS permanente.
- Se establecerá la estación GPS permanente con el fin de utilizar uno de los equipos donados por la UNAVCO (consorcio sin fines de lucro) a la Universidad de El Salvador en el 2019.
- La configuración y posterior funcionamiento informático de la estación GPS permanente a un sitio FTP.
- Que la Universidad de El Salvador será la primer Universidad en el país que cuenta con esta tecnología y de forma gratuita.

1.5 Limitaciones.

- No tener acceso a las estaciones CORS del Centro Nacional de Registro (CNR)
- Acceso a las estaciones CORS en C.A es viable pero su falta de información al Publico externo.
- Acceso a las coordenadas fijas de estas estaciones CORS de C. A. y en El Salvador.

- Pocas capacitaciones para informar a los estudiantes de las estaciones en línea.
- Falta de manuales para estaciones permanentes.
- Requerimientos mínimos para las estaciones permanentes.
- No se posee una diversidad de equipos de medición geodésica para la realización de las prácticas de toma de datos.
- Las dimensiones de las mediciones realizadas son pequeñas ya que solo es una representación del proceso a seguir, pero que para el cual puede ser aplicado en proyectos de gran extensión.

1.6 Justificación

Los motivos por el cual se consideró el establecimiento de una estación GPS permanente en la Universidad de El Salvador fueron por la falta de una estación y el poco acceso que se tiene a las estaciones de monitoreo ya existentes en nuestro país, de las cuales actualmente solo está disponible la estación de referencia de operación continua del Aeropuerto de Ilopango (SSIA²).

Al realizar este proyecto se abre paso a que la Universidad de El Salvador especialmente los alumnos de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura tengan a disposición datos actualizados para un mejor aprendizaje, considerando específicamente las materias de Topografía y Geodesia que están en el plan de estudio de los estudiantes de dicha facultad, pretendemos que la Universidad misma cuente con un recurso que le permita así realizar levantamientos geodésicos, topográficos, catastrales, así también la georreferenciación de una red geodésica de manera rápida y eficiente, relacionándolos a través una conversión sencilla al Sistema de Referencia Nacional.

² *San Salvador Ilopango Airport*

CAPÍTULO II SISTEMAS DE COORNEDADAS

2.1 SISTEMAS DE COORDENADAS

“Se conoce como sistema de coordenadas al conjunto de datos que permiten identificar de manera inequívoca la posición de un punto en un espacio. Los sistemas de coordenadas más simples se definen sobre espacios planos”³.

Los datos se definen tanto en un sistema de coordenadas horizontales como verticales. Los sistemas de coordenadas horizontales localizan los datos en la superficie de la Tierra, mientras que los sistemas de coordenadas verticales localizan la altura o la profundidad relativas de los datos.

Los sistemas de coordenadas horizontales pueden ser: geográficos, proyectados o locales. Puede determinar qué sistema de coordenadas usan los datos examinando las propiedades de la capa. Generalmente, las unidades de los sistemas de coordenadas geográficas (GCS) están expresadas en Sistema sexagesimal, es decir, grados, minutos y segundos tanto como para la Latitud y Longitud. La Latitud puede ser Norte o Sur tomando como referencia el paralelo de origen, el Ecuador. La Longitud puede ser Este u Oeste tomando como referencia el meridiano de origen, Greenwich.

³ J, P. P., & Merino, M. (2021). Coordenada -<https://definicion.de/coordenada/>

Los datos espaciales también se pueden expresar utilizando sistemas de coordenadas proyectadas (PCS). Se utilizan mediciones lineales para las coordenadas, en lugar de grados angulares.

Finalmente, hay algunos datos que se pueden expresar en un sistema de coordenadas local, con un origen falso (0, 0 u otros valores) en una ubicación arbitraria que puede ser cualquier lugar de la tierra. Los sistemas de coordenadas locales se suelen utilizar para la representación cartográfica a gran escala (área pequeña). El origen falso puede estar alineado o no con una coordenada real conocida, pero, para los fines de la captura de datos, los rumbos y las distancias se pueden medir utilizando el sistema de coordenadas local en lugar de las coordenadas globales. Normalmente, los sistemas de coordenadas locales se expresan en pies o en metros.

2.1.1 Coordenadas Geográficas

El sistema de coordenadas geográficas (Geographic Coordinate System, GCS), es un sistema que referencia cualquier punto de la superficie terrestre y que utiliza para ello dos coordenadas angulares, latitud (norte o sur) y longitud (este u oeste), y una elevación sobre un elipsoide para determinar los ángulos

laterales de la superficie terrestre con respecto al centro de la Tierra y alineadas con su eje de rotación⁴.

Con frecuencia, a los GCS, se los llama incorrectamente datum, pero un datum es solo una parte de un GCS. Un GCS incluye una unidad angular de medida, un meridiano base y un datum (basado en un esferoide).

Para saber cómo se forman las medidas de longitud y latitud necesitamos conocer primero una serie de conceptos básicos:

- **Paralelos**

El ecuador es el círculo máximo imaginario perpendicular al eje de rotación de la Tierra y, por tanto, único. Este círculo, equidistante de los polos, divide la Tierra en dos hemisferios: hemisferio Norte, semiesfera que abarca desde el ecuador hasta el polo Norte, y hemisferio Sur, la otra semiesfera que comprende desde el ecuador hasta el polo Sur.

Al norte y al sur del ecuador y, paralelos al mismo, se pueden trazar una sucesión de círculos menores imaginarios que se hacen más pequeños a medida

⁴ AristaSur. (2021, 24 enero). Sistema de Coordenadas Geográficas: Longitud y Latitud. <https://www.aristasur.com/contenido/sistema-de-coordenadas-geograficas-longitud-y-latitud>

que se acercan a los polos. Estos círculos menores (incluido el ecuador) reciben el nombre de paralelos. De todos los paralelos, el plano que lo incluye (llamado plano ecuatorial) es el único que pasa por el centro del planeta. El ecuador se toma como referencia u origen para expresar la latitud de un punto cualquiera de los hemisferios, por lo cual se le conoce también como paralelo cero (0°). Ver figura 2.1

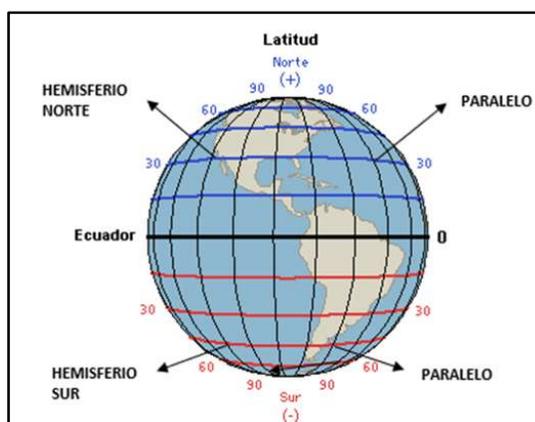


Figura 0.1 Hemisferios y línea de referencia Ecuador.

Fuente: Documento De Sistema De Información Geográfica.

Autor: Ing. Wilfredo Amaya

- **Meridianos**

Los meridianos consisten en semicírculos que pasando por los polos son perpendiculares al ecuador.

Cada meridiano está compuesto por dos semicírculos, uno que contiene al meridiano considerado y otro al meridiano opuesto (antimeridiano). Cada meridiano y su antimeridiano dividen la tierra en dos hemisferios, occidental y oriental. El oriental será el situado al este del meridiano considerado y el occidental el considerado al oeste.

Hasta bien avanzado el siglo XIX cada nación tenía su meridiano origen de longitudes con el resultado que muchos mapas anteriores carecen de unas referencias estandarizadas. El problema fue resuelto en 1884 cuando una comisión internacional designó como meridiano 0° aquel que pasa por el London's Greenwich Observatory (de ahí su denominación) en reconocimiento a su labor investigadora.

Por tanto, el meridiano de Greenwich es el cual divide la tierra en dos hemisferios: Este u oriental situado al este de dicho meridiano y hemisferio Oeste u occidental al oeste de este. Hay 360 meridianos principales (180 al oeste y 180 al este del primer meridiano o meridiano de Greenwich). Ver figura 2.2

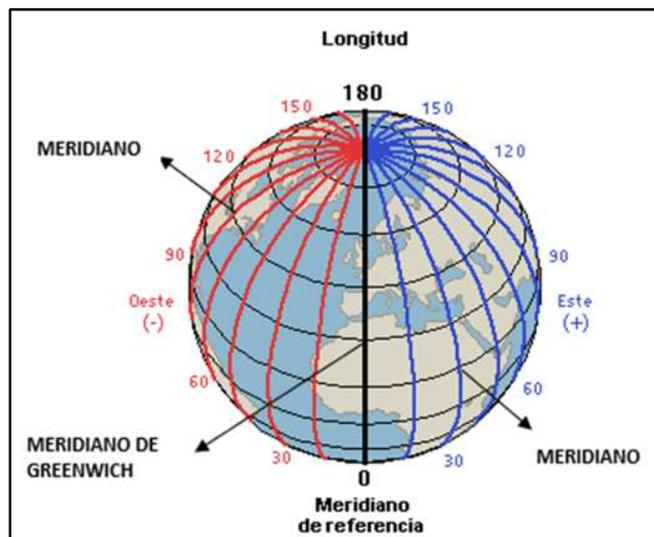


Figura 0.2 Meridianos.

Fuente: Documento De Sistema De Información Geográfica

Latitud y Longitud.

Por tanto, cualquier lugar de la superficie terrestre puede ser referenciado por la intersección de un paralelo y un meridiano, es a partir de estos conceptos de donde surgen las coordenadas de latitud y longitud.

- **Latitud**

La latitud proporciona la localización de un lugar, en dirección Norte o Sur desde el ecuador y se expresa en medidas angulares que varían desde los 0° del Ecuador hasta los 90°N ($+90^{\circ}$) del polo Norte o los 90°S (-90°) del polo Sur. Como podemos ver en la figura 2.3, si trazamos una recta que vaya desde el punto P hasta el centro de la esfera O, el ángulo que forma esa recta con el plano ecuatorial expresa la latitud de dicho punto.

Los grados de latitud están espaciados regularmente, pero el ligero achatamiento de la Tierra en los polos causa que un grado de latitud varíe de 110,57 kms en el ecuador hasta 111,70 kms en los polos.

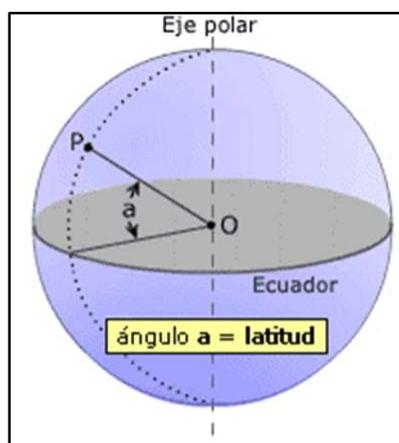


Figura 0.3 Eje Polar.

Fuente: Documento De Sistema De Información Geográficas: latitud y longitud.

- **Longitud**

La longitud proporciona la localización de un lugar, en dirección Este u Oeste desde el meridiano de referencia 0° , o meridiano de Greenwich, expresándose en medidas angulares comprendidas desde los 0° hasta 180°E ($+180^\circ$) y 180°W (-180°).

Se puede ver en la figura 2.4, que el ángulo b mide la distancia angular del meridiano del lugar P con el meridiano 0° (meridiano de Greenwich). Es lo mismo medir este ángulo sobre el círculo del ecuador que sobre el círculo del paralelo que pasa por el punto P, el valor angular de b es igual en ambos casos. En el

ejemplo de esta figura, la longitud es Oeste (W) puesto que el meridiano del punto P está al Oeste del meridiano de Greenwich.

Mientras que un grado de latitud corresponde a una distancia casi idéntica como se ha comentado anteriormente, no sucede lo mismo con un grado de longitud dado que los círculos sobre los cuales se miden convergen hacia los polos. En el ecuador, un grado de longitud equivale a 111,32 kms que es el resultado de dividir la circunferencia ecuatorial entre 360° .

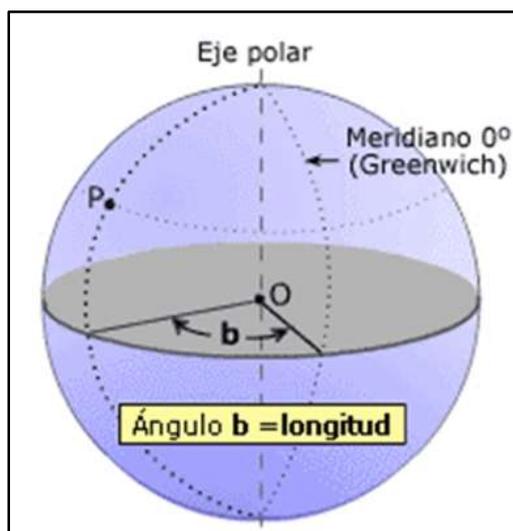


Figura 0.4 Meridiano de Referencia.

Fuente: Documento De Sistema De Información Geográficas: latitud y longitud.

La Latitud y Longitud se expresan en grados sexagesimales, es decir: grados, minutos y segundos.

Ejemplo típico para nuestro país El Salvador:

Latitud: $13^\circ 42' 06.46321''$ N

Longitud: $89^\circ 12' 55.84452''$ W

2.2 Coordenadas Planas

Las Coordenadas planas (o Coordenadas Proyectivas) son las que resultan de proyectar la superficie del elipsoide sobre un plano. Los puntos proyectados son designados por la coordenada Y o Norte; la coordenada X o Este, medidas sobre dos ejes perpendiculares, trazados a partir de un origen definido convencionalmente de distintas maneras, según sea el sistema de proyección elegido. Estas pueden ser Cónicas Lambert (asociadas al Datum de Referencia) o UTM (Universal Transversal de Mercator). Los mapas sobre papel son planos, entonces para localización sobre mapas hay que “proyectar” las coordenadas a una cuadrícula plana (X, Y). Las coordenadas planas usan generalmente kilómetros y metros.

CAPÍTULO III SISTEMA DE REFERENCIA GEODÉSICO

3.1 SISTEMA DE REFERENCIA GEODÉSICO

Los sistemas de referencia son una necesidad cuando se requiere ubicar objetos. La determinación de la posición debe hacerse teniendo en cuenta una referencia, pero esta referencia, que en principio puede ser arbitraria dependiendo de la finalidad, tiene que ser actualmente considerada de manera global definiendo la posición de los elementos de interés de una forma única. Tradicionalmente las diferentes geociencias han trabajado con sistemas de referencia que se pueden considerar como locales y globales.

Estos sistemas han pasado en las últimas décadas de estar materializados por un conjunto de estaciones pasivas en cada país, a convertirse en sistemas dinámicos definidos por estaciones de medición continua (GNSS⁵) y otras técnicas de la geodesia espacial. Estas técnicas, acompañadas de modelos matemáticos contemplados dentro procesamiento riguroso de los datos satelitales, permiten que se pueda dar posición a las estaciones terrestres con una exactitud milimétrica.

“Sistema de referencia es una definición conceptual de teorías, hipótesis y constantes que permiten situar una tripleta de ejes coordenados en el espacio,

⁵ *Global Navigation Satellite System*

definiendo su origen y su orientación”⁶. Es decir es un recurso matemático que permite asignar coordenadas a puntos sobre la superficie terrestre. Son utilizados en geodesia, navegación, cartografía y sistemas globales de navegación por satélite para la correcta georreferenciación de elementos en la superficie terrestre. Estos sistemas son necesarios dado que la tierra no es una esfera perfecta.

3.1.1 Sistema de referencia global.

Los Sistemas de Referencia Global tienen la finalidad de señalar cualquier punto que este situado en la tierra a través de tres unidades dadas (X, Y, Z) cuyo origen se encuentra en el geocentro terrestre.

Para definir las coordenadas geodésicas (latitud, longitud y altura) cuentan con un elipsoide de revolución asociado. En la realidad tanto el centro como los ejes son inaccesibles en la práctica.

3.1.2 Elipsoide WGS-84

Se define como elipsoide: la figura geométrica que representa gráficamente a la Tierra. Como sabemos, su figura se asemeja a una esfera achatada por los polos, y ésta surge de girar una elipse sobre su eje. la Tierra

⁶ SISTEMA Y MARCO DE REFERENCIA TERRESTRE. SISTEMAS DE COORDENADAS. Ángel Martín Furones Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría Universidad Politécnica de Valencia

está achatada por los polos, el hemisferio sur es un poco más voluminoso que el norte, y tiene una cierta rugosidad debida al relieve del terreno. Es por esto por lo que la geodesia, que es la ciencia que tiene por objeto estudiar la forma y dimensiones de la Tierra, establece una aproximación a la forma de la Tierra, denominada elipsoide. Esto se debe a que el elipsoide es una figura matemática que responde a fórmulas analíticas, de manera que permite hacer cálculos apoyándose en él. Ver figura 3.1

Según la Real Academia de la Lengua Española (RAE) un elipsoide se define como “Una superficie cuyas secciones planas son elipses. “Si tomamos como referencia la Tierra, debemos de saber que esta no tiene una forma esférica perfecta. Por ello, para poder tener una mayor aproximación a la forma que tiene el planeta en el que vivimos, se hace uso de un elipsoide, ya que es la forma geométrica que guarda mayor similitud. El elipsoide utilizado para el sistema de coordenadas WGS84⁷ está aplanado en la parte superior. Las ondas de radio transmitidas por los satélites GPS y la trilateración permiten mediciones extremadamente precisas de la Tierra a través de continentes y océanos. Los geodestas podrían crear modelos elipsoidales globales debido a la mejora de las

⁷ *Sistema Geodésico Mundial 1984*

capacidades informáticas y la tecnología GPS. Esto llevó al desarrollo de modelos elipsoides globales como WGS72, GRS80 y WGS84 (actual).

Un elipsoide viene definido por dos parámetros: el semieje mayor y el semieje menor. En el caso de la Tierra estos se corresponderían con el radio ecuatorial y el radio polar respectivamente. La relación existente entre estas dos medidas define el grado de achatamiento del elipsoide. En particular, se establece un factor de achatamiento según la siguiente relación:

$$f = \frac{a - b}{a}$$

Donde:

a=semieje mayor

b= semieje menor

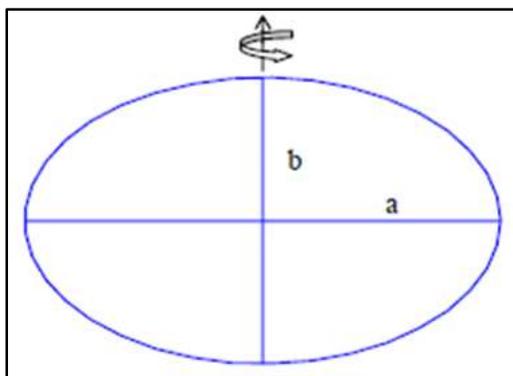


Figura 0.1 Semieje mayor y menor.

Fuente: Documento Formas y Dimensiones de la Tierra.

Existen diferentes modelos de elipsoides utilizados en geodesia, denominados elipsoides de referencia. Ver la tabla No. 3.1

Elipsoide	Semieje mayor	Semieje menor	$\frac{1}{f}$
Australian National	6378160.000	6356774.719	298.250000
Bessel 1841	6377397.155	6356078.963	299.152813
Clarke 1866	6378206.400	6356583.800	294.978698
Clarke 1880	6378249.145	6356514.870	293.465000
Everest 1956	6377301.243	6356100.228	300.801700
Fischer 1968	6378150.000	6356768.337	298.300000
GRS 1980	6378137.000	6356752.314	298.257222
International 1924 (Hayford)	6378388.000	6356911.946	297.000000
SGS 85	6378136.000	6356751.302	298.257000
South American 1969	6378160.000	6356774.719	298.250000
WGS 72	6378135.000	6356750.520	298.260000
WGS 84	6378137.000	6356752.314	298.257224

Tabla 0.1 Elipsoides utilizados en el mundo y sus parámetros.

Fuente: Tomado de Elipsoides utilizados a largo Tiempo, Geografía Física. (Scribd.com)

3.1.3 Datum WGS-84

El Datum sirve para hacer que un Sistema de Coordenadas Geográficas represente fielmente la superficie de la Tierra y salve las irregularidades de esta, ya que esta no es esférica. Aunque existe un Datum global, cada continente o país ha definido su propio Datum para adaptar mejor el Sistema de Coordenadas Geográficas a su superficie. Por tanto, las coordenadas geográficas no suelen ser universales, sino que son relativas al Datum de referencia elegido. De esta

manera, un mismo punto se expresa con coordenadas geográficas diferentes en función del Datum seleccionado.

Técnicamente, el Datum es:

1) Un conjunto de puntos de referencia en la superficie terrestre con los cuales las medidas de la posición son tomadas.

2) Un modelo asociado de la forma de la tierra (elipsoide de referencia).

Para poder comprender mejor la definición de Datum, debemos antes definir el Geoide

EL GEOIDE

Desde aproximadamente el siglo VI a. C. se comenzó a especular acerca de la esfericidad del planeta Tierra, encontrando que Thales de Mileto fue el primero que dibujó una esfera geográfica. Hasta entonces, se consideraba plana, pero la navegación sobre todo en pueblos como los fenicios y griegos, acompañada de una gran cantidad de filósofos y matemáticos hizo que se realizarán las primeras menciones acerca de que la superficie terrestre en realidad fuera una esfera. Esta creencia fue plasmada sobre la realidad cuando Juan Sebastián el Cano y

Fernando Magallanes, consiguieron dar la vuelta a la Tierra navegando.

Sin embargo, la Tierra no es una esfera perfecta, aunque para una representación óptima de ésta, se utilice una esfera (elipsoide en concreto), pues se trata de una superficie regular, pudiendo ser descrita mediante fórmulas matemáticas (importante a la hora de proyectar la superficie en un mapa).

La realidad es que la Tierra no responde a ninguna fórmula matemática, pues es una superficie irregular. El planeta Tierra es en realidad más parecido a un esferoide.

Se define como el "Geoide" la superficie teórica de la tierra que une todos los puntos que tienen igual gravedad. La forma así creada supone la continuación por debajo de la superficie de los continentes, de la superficie de los océanos y mares suponiendo la ausencia de mareas, con la superficie de los océanos en calma y sin ninguna perturbación exterior.

Como perturbaciones exteriores se encuentra la atracción de la luna, (mareas) y las interacciones de todo el sistema solar. Lejos de lo que se podría imaginar, esta superficie no es uniforme, sino que presenta una serie de irregularidades, causadas por la distinta composición mineral del interior de la tierra y de sus distintas densidades, lo que implica que para cada punto de la

superficie terrestre exista una distancia distinta desde el centro de la tierra al punto del geode.

Hablando de una manera más coloquial, la Tierra tiene forma de patata irregular, debido a las fuerzas de la gravedad y los diferentes accidentes geográficos. Ver figura 3.2

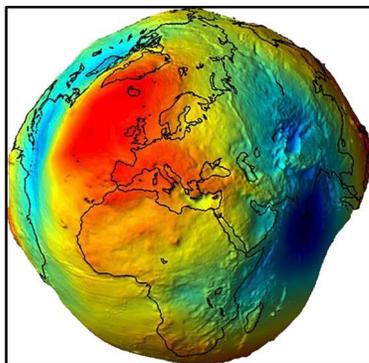


Figura 0.2 El Geode.

Fuente: Documento de Formas y Dimensiones de la Tierra

Elipsoide como se mencionó antes se define como la figura geométrica que representa gráficamente a la Tierra. Como sabemos, su figura se asemeja a una esfera achatada por los polos, y ésta surge de girar una elipse sobre su eje.

Si comparamos ambas representaciones con la representación real de la superficie terrestre observamos cómo en ciertas ocasiones queda el geode por encima del elipsoide y en otras ocasiones a la inversa. Ver figura 3.3

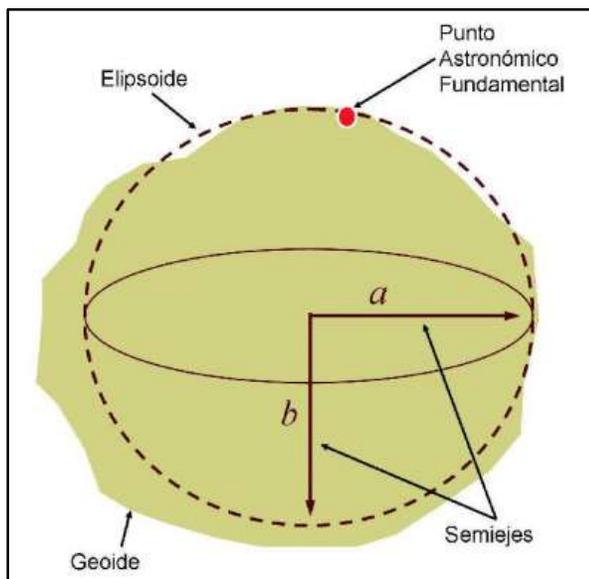


Figura 0.3 El Geoide y Elipsoide.

Fuente: Documento el cambio del Sistema de Referencia ED50 a ETRS8. Por Roberto Pascual Orcajo

En base a estos valores podemos dar la siguiente definición:

Datum: Se define como el punto tangente al elipsoide y al geoide, donde ambos son coincidentes. Definido el Datum, ya se puede elaborar la cartografía de cada lugar, pues gracias a él se consiguen unos parámetros de referencia que relacionan el punto origen del geoide y del elipsoide con su localización geográfica (coordenadas geográficas), así como la dirección del sistema. Ver figura 3.4

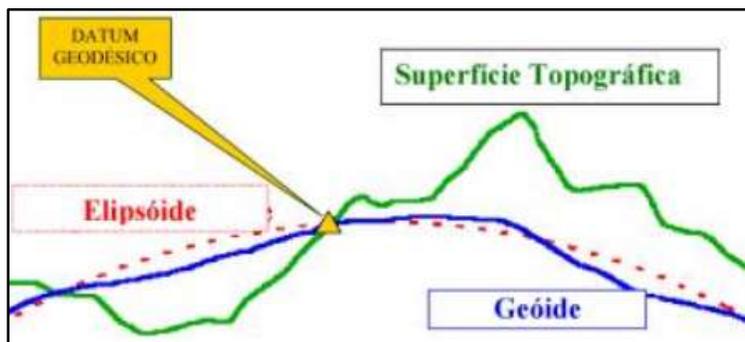


Figura 0.4 Punto tangente donde coincide el Geóide con el Elipsóide.

Fuente: Documento de Datum altimétrico y Datum Planimétrico

Como hemos dicho, cada continente posee su propio Datum como punto de referencia para crear su cartografía, pero, además, muchos países han creado su propio Datum para hacer su cartografía aún más exacta. A continuación, se consulta algunos de ellos en la siguiente lista:

- **WGS84** (World Geodetic System 1984): se utiliza de manera universal para todo el planeta. Es el que utiliza el GPS por defecto.
- **ETRS89** (European Terrestrial Reference System 1989): se utiliza en toda Europa desde el 2007, aunque no suele venir en muchos GPS.
- **ED50** (European Datum 1950) o **ED79** (European Datum 1979): se utiliza en la península e Islas Baleares (España). La diferencia entre ellos es mínima, por lo que se puede elegir cualquiera.

- **REGCAN95** (Red Geodésica Nacional por Técnicas Espaciales Canarias 1995): se utiliza en las Islas Canarias (España), aunque no suele venir en los GPS, por lo que se utiliza WGS84 que es casi idéntico.
- **NAD27** (North American Datum of 1927) y **NAD83** (North American Datum of 1983): se utiliza en América del Norte.
- **PSAD56** (Provisional South American Datum of 1956): se utiliza en Sudamérica.
- **Campo Inchauspe 1969**: se utiliza en Argentina.
- **SAD69** (South American Datum of 1969): se utiliza en Brasil.

Un DATUM geodésico mundial está definido por: el tamaño, forma y orientación de un elipsoide y la ubicación del centro de éste con respecto al centro de la Tierra.

EI DATUM Global: es WGS-1984 y es Geocéntrico, es decir su origen es el Centro de Masa de la tierra.

Las coordenadas WGS84 se trata de un sistema de coordenadas geodésico de carácter global, tal y como indica sus siglas en inglés *World Geodetic System 1984* (que significa Sistema Geodésico Mundial 1984). La finalidad principal de este Sistema de Posicionamiento Global es poder señalar

cualquier punto que este situado en la tierra a través de tres unidades dadas (x, y, z) sin la necesidad de tener que utilizar otro punto de referencia para ello.

Este sistema fue inventado en el año 1984 y se considera válido hasta la fecha. Se basa fundamentalmente en un patrón matemático que utiliza un elipsoide de referencia similar a la Tierra a través de tres dimensiones distintas.

Al igual que ocurre con el sistema Datum Norteamericano (NAD83) el sistema de coordenadas WGS84 utiliza el centro de la tierra como punto de origen, sin embargo, a diferencia del primero, el sistema WGS84 tiene un margen de error de 2 cm, por lo tanto, es mucho más preciso y exacto.

3.2 Sistema de Referencia Local.

Un Sistema de Referencia Geodésico se puede definir como un conjunto de convenciones (constantes, modelos, parámetros, etc.), que se utilizan como base para la representación de la geometría de la superficie de la Tierra y su variación en el tiempo, sin embargo, no deja de ser un concepto o una “idea” mientras no tenga asociado un Marco de Referencia, el cual materializa el sistema a través de marcas físicas y matemáticas⁸.

⁸ *colaboradores de Wikipedia. (2023). Sistema de referencia. Wikipedia, la enciclopedia libre. https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_referencia*

Los Sistemas Geodésicos Locales: han sido creados para satisfacer las necesidades geodésicas de una cierta región. Su centro de coordenadas no coincide con el centro de masas de la Tierra, este es el caso del NAD 27, que se refiere al elipsoide Clarke de 1866, cuyo datum se encuentra en la estación de triangulación Meades Ranch (Kansas EU). La utilización de este tipo de sistemas tiene como fin primordial la elaboración de cartografía.

Sistemas Geocéntricos: el Origen de coordenadas del sistema coincide con el centro de masas terrestre (ver figura 3.5), dentro de esta clase se encuentran el WGS84 e ITRS.

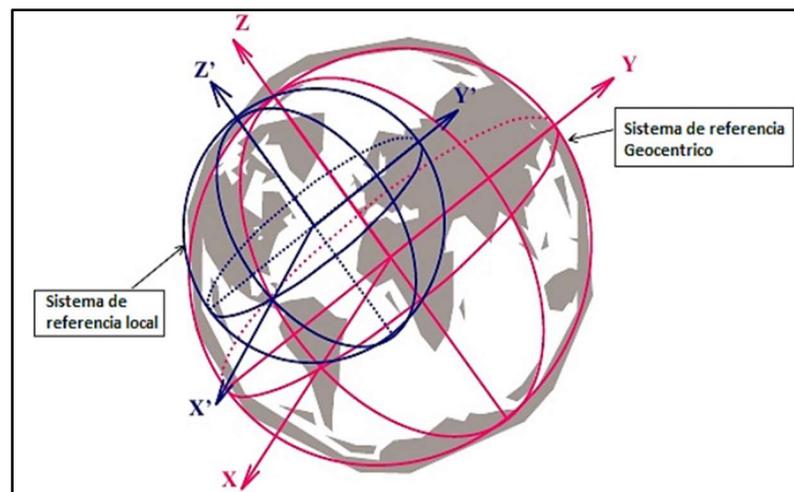


Figura 0.5 Sistema de Referencia Local y Geocéntrico.

Fuente: Documento GPS aplicado a proyectos de ingeniería Civil.

3.2.1 *Elipsoide Clarke 1866*

La base del plano geodésico norteamericano, el plano de referencia usado en la mayor parte del hemisferio occidental el elipsoide Clarke 1866, el nombre fue dado en honor a Alexander Ross Clarke⁹.

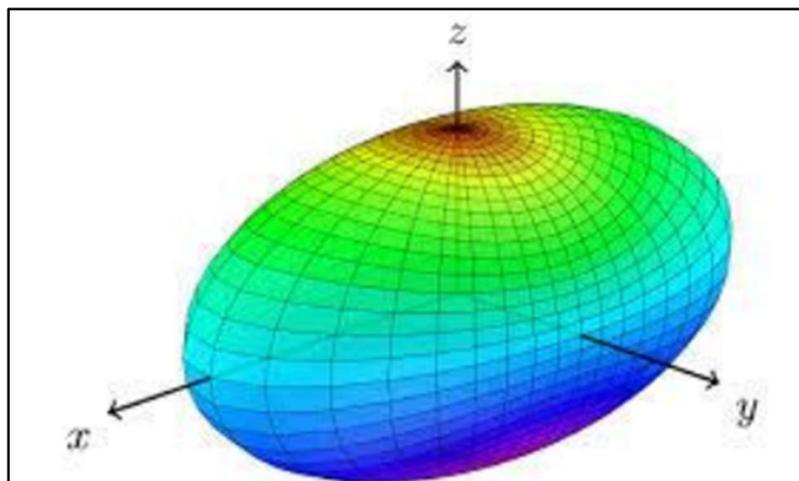


Figura 0.6 Forma Elipsoidal.

Fuente: Documento GPS aplicado a proyectos de ingeniería Civil.

Dado que la Región Centroamericana está siendo tomada en cuenta dentro de la región norteamericana, el elipsoide utilizado en El Salvador es el Clarke (1866). Además de elegir las dimensiones para el tamaño y forma del elipsoide, la orientación apropiada del mismo con respecto a la Tierra real

⁹ Wilfredo Amaya Zelaya (2020). GPS APLICADO A PROYECTOS DE INGENIERIA CIVIL: Sistema de referencia geodésicos, Universidad de El Salvador. San Salvador, El Salvador.

introduce algunos requisitos adicionales. Para orientar el elipsoide, su eje de rotación se define siempre como paralelo al eje de rotación de la Tierra; sin embargo, permanece indefinido el centro del elipsoide¹⁰. Ver figura 3.6

3.2.2 Datum NAD27

Existen 2 tipos de datum locales: horizontales y los verticales. Los puntos de referencia o Datum horizontales se utilizan para describir lo que típicamente pensamos que son las coordenadas X e Y. Los datum verticales describen la posición en la dirección vertical (Z) y a menudo se basan en la altura sobre el nivel del mar¹¹

3.2.2.1 Datum Horizontal.

Las coordenadas de un punto sobre la superficie terrestre se determinan mediante sistemas de referencia geodésicos, los cuales están conformados por elipsoides de referencia y un punto fundamental llamado Datum¹². Un Datum

¹⁰ Wilfredo Amaya Zelaya (2020). *GPS APLICADO A PROYECTOS DE INGENIERIA CIVIL: Sistema de referencia geodésicos*, Universidad de El Salvador. San Salvador, El Salvador

¹¹ Gabri. (2019). *El datum y la proyección. El blog de franz.* <https://acolita.com/el-datum-y-la-proyeccion/#:~:text=Dos%20tipos%20principales%20de%20datums,sobre%20el%20nivel%20del%20mar>.

¹² Wilfredo Amaya Zelaya (2020). *GPS APLICADO A PROYECTOS DE INGENIERIA CIVIL: Sistema de referencia geodésicos*, Universidad de El Salvador. San Salvador, El Salvador

horizontal proporciona un marco de referencia que sirve de base para colocar ubicaciones específicas en puntos específicos de la tierra.

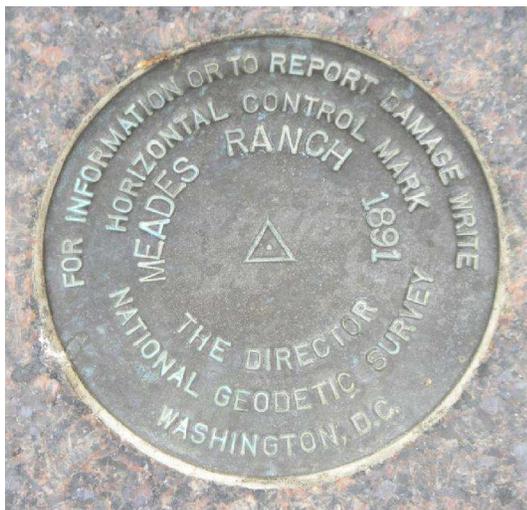


Figura 0.7 Placa en Meadles Ranch.

Fuente: Documento Geodetic Center of America.

Datum Norteamericano de 1927

Estos sistemas de referencia geodésicos y los sistemas de proyecciones cartográficas permiten la transformación de coordenadas geográficas a coordenadas planas. Todas las coordenadas planas en la Tierra hacen referencia al datum horizontal utilizado en su transformación, como se observa en la información técnica del fragmento de mapa que se ilustra en la figura 3.8, donde hace referencia al Datum Norte Americano de 1927.

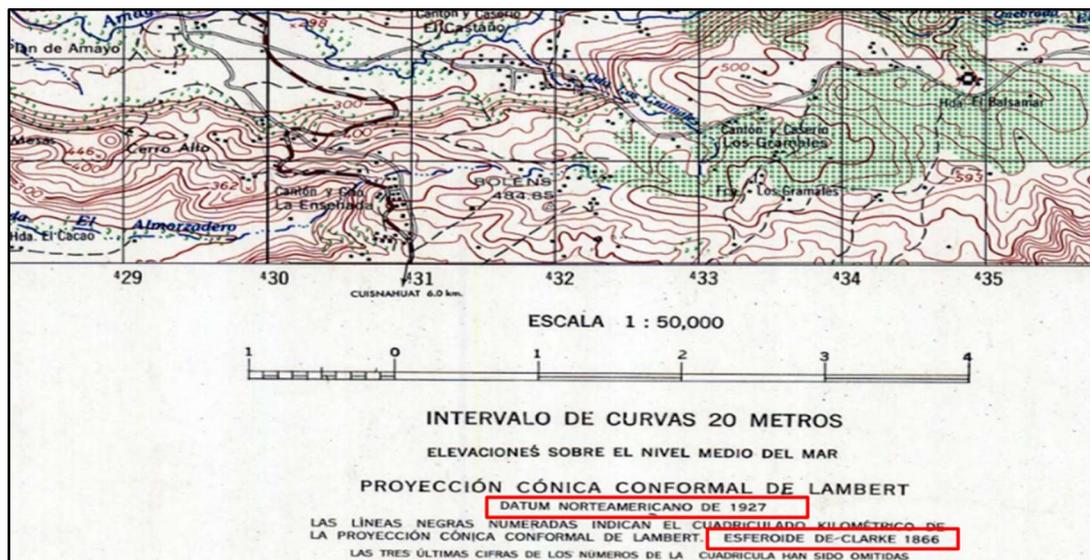


Figura 0.8 Datum NAD27

Fuente: Documento GPS aplicado a proyectos de ingeniería Civil.

Diversidad de Datum horizontales se han desarrollado a lo largo del tiempo, en diferentes zonas del planeta y forman parte de sistemas de referencia geodésicos locales, por ejemplo, el Datum NAD-27 (North American Datum 1927), también se han creado sistemas de referencia globales, como el Datum WGS-84 (World Geodetic System 1984).

Históricamente los países adoptaban el sistema de referencia geodésicos más conveniente de acuerdo a la ubicación y la disponibilidad de Datum locales, referenciados a elipsoides no geocéntricos, sin embargo, en la actualidad hay una tendencia a utilizar los sistemas geodésicos globales, como el Datum

geocéntrico WGS-84, el cuál emplea el elipsoide geocéntrico WGS-84, porque contribuye a la unificación de los sistemas de referencia e incorpora la posibilidad de implementar nueva tecnología, por ejemplo, la determinación de coordenadas geodésicas con el Sistema de Posicionamiento Global (GPS).

Datum de Norte América 1927 (North American Datum 1927) fue desarrollado en 1927, y su estación fundamental de triangulación o punto origen está ubicado cerca del centro geométrico de los Estados Unidos, en Meades Ranch (Kansas), cuya ubicación se determinó mediante un estudio amplio que finalizó en el año 1901 El Datum NAD 27 fue establecido por coordenadas y desviación de la vertical en la estación de triangulación Meades Ranch (Kansas EU) referidas el elipsoide Clarke de 1866, sin embargo, en la actualidad se emplea el elipsoide y el Datum WGS-84.

El Datum norteamericano fue designado como base para las redes de Triangulación de Estados Unidos, México y Canadá desde 1913¹³.

¹³ Wilfredo Amaya Zelaya (2020). *GPS APLICADO A PROYECTOS DE INGENIERIA CIVIL: Sistema de referencia geodésicos*, Universidad de El Salvador. San Salvador, El Salvador



Figura 0.9 Estación de Triangulación Meades Ranch E.U.

Fuente: Documento GPS aplicado a proyectos de ingeniería Civil

Para formar el Datum NAD 27 aproximadamente 26,000 estaciones de reconocimiento se establecieron en los Estados Unidos y Canadá, en cada una se determinó sus coordenadas de latitud y longitud. Estas estaciones de levantamiento y triangulación fueron utilizadas posteriormente para formar el Datum NAD 27.

El término Norte América cuando se hace referencia al Datum NAD 27, indica la zona que cubre este sistema geodésico, y no se debe confundir con el área limítrofe del país de Los Estados Unidos. Con el desarrollo del Datum NAD 27 países como Canadá, México y Estados Unidos lo designaron como base para sus redes nacionales de triangulación. Las coordenadas de latitud y longitud de

cada punto de América del Norte se basaban en su dirección, ángulo y distancia al punto fundamental ubicado en el rancho de Meades y referidas al elipsoide de referencia Clark 1866.

El Salvador adoptó en 1962 definitivamente este Datum y toda la información Geodésica y Cartográfica antigua está referida a dicho Datum.

Este Datum tiene la desventaja de ser incompatible con los sistemas modernos de posicionamiento global, por ser un sistema de referencia regional que emplea un elipsoide no geocéntrico. Además, la ampliación y densificación de la red de puntos geodésicos NAD 27 ubicada en Estados Unidos y Canadá a países como México y los de Centro América fue realizada con métodos geodésicos tradicionales por lo que presenta inconsistencias en algunas zonas.

Nombre	Año	a	f	DATUM
Elipsoide		metros	aproximado	
Bessel	1841	6377397	299.153	Tokyo
Clarke	1866	6378206	294.987	NAD 27
Krassovsky	1938	6378245	298.300	Pulkovo
WGS 72	1972	6378135	298.260	WGS 72
GRS 80	1980	6378137	298.257	NAD 83
WGS 84	1984	6378137	298.257	WGS 84

Tabla 0.2 Elipsoides y Datum.

Fuente: Documento GPS aplicado a Ingeniería Civil.

3.2.2.2 Datum Vertical.

Retomando el concepto de Datum como un punto de referencia que sirve como base para definir un origen, y al hablar de Datum Vertical es necesario definir qué es el nivel medio del mar (NMM); como la superficie de referencia que se adopta como Datum, y **la altura de cada banco de nivel o banco de Marca (BM) se define como la distancia vertical entre éste y la superficie de referencia**¹⁴.

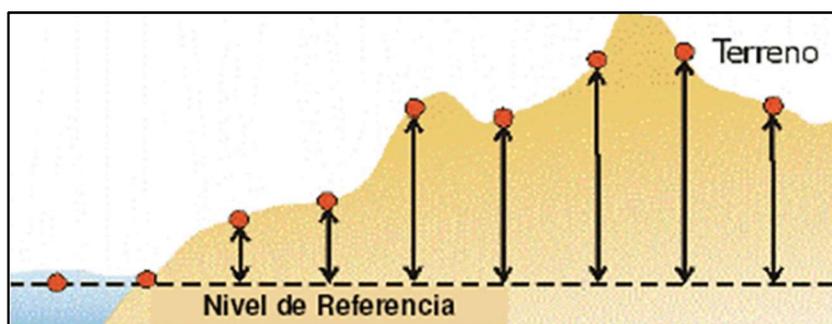


Figura 0.10 Nivel medio del mar como superficie de referencia.

Fuente: Documento GPS aplicado a ingeniería.

¹⁴ Wilfredo Amaya Zelaya (2020). GPS APLICADO A PROYECTOS DE INGENIERIA CIVIL: Sistema de referencia geodésicos, Universidad de El Salvador. San Salvador, El Salvador



Figura 0.11 Banco de marca

Fuente: Documento GPS aplicado a ingeniería.

El Datum Vertical se define como la altura cero y es representado por las aguas marinas en reposo y continuadas por debajo de los continentes; para su determinación precisa son necesarias observaciones mareográficas continuas de la fluctuación de las mareas en Estaciones mareográficas durante un periodo de casi 20 años.

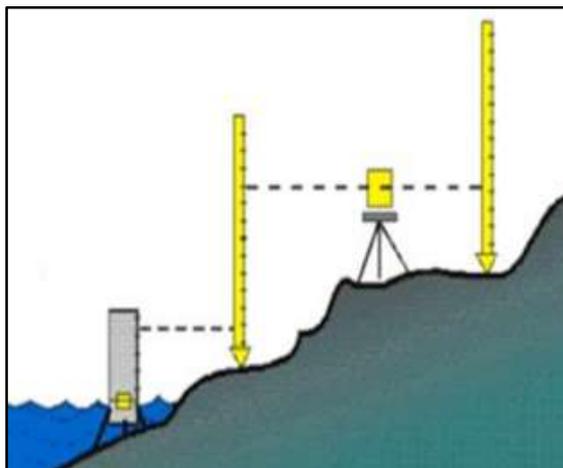


Figura 0.12 Datum vertical.

Fuente: Documento GPS aplicado a ingeniería.

Sobre los Bancos de Marca se realizan nivelaciones de precisión para determinar su Altura con respecto a una superficie de referencia (Datum Vertical).

El Datum Vertical o Sistema de Referencia Vertical para El Salvador, fue establecido como parte de un Ajuste realizado por el Servicio Geodésico Interamericano (IAGS) que incluyó desde el sur de México, cubriendo Guatemala, Honduras y El Salvador y se basó en observaciones tomadas en la Estación mareográfica localizada en el antiguo Puerto de Cutuco en el departamento de La Unión en 1960, por lo que es conocido como Datum La Unión.



Figura 0.13 Red Nacional de Niveles, Datum La Unión.

Fuente: Documento GPS aplicado a Ingeniería Civil.

3.3 Sistema de Referencia Local Moderno.

Los sistemas de referencia locales modernos, en la mayoría de los países, son la base de todos los levantamientos, posicionamientos y de la cartografía dentro de las fronteras nacionales. Debido a que el software topográfico/SIG y los datos espaciales no están diseñados para tratar con cambios continuos en las coordenadas, la época para el datum nacional es fija y las coordenadas se consideran invariantes en el tiempo.

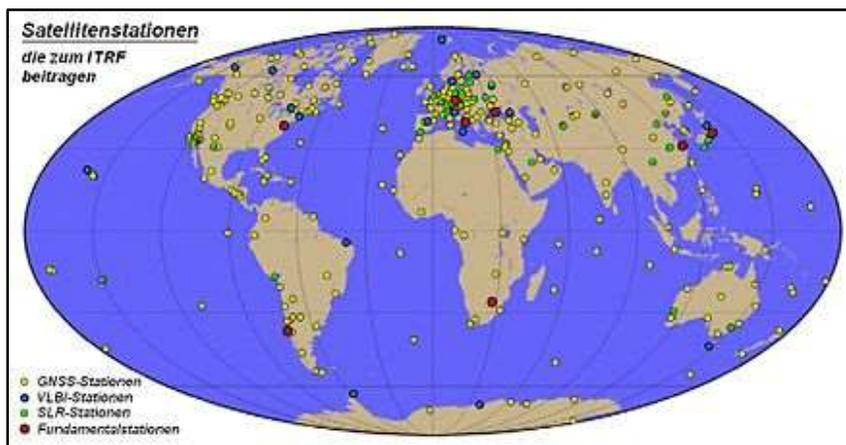


Figura 0.14 Sistema Internacional de Referencia Terrestre.

Fuente: Documento GPS aplicado a Ingeniería.

Dentro de los sistemas Locales modernos veremos los siguientes:

Internacional Terrestrial Reference System (ITRS): Sistema de referencia del servicio internacional de rotación terrestre y sistema de referencia IERS, establecido para la determinación de los sistemas de referencia celeste (ICRS) y terrestre (ITRS) y la relación entre los dos sistemas, o sea la orientación y rotación de la tierra en el espacio.

International Terrestrial Referente Frame (ITRF): El ITRF es un marco de referencia geocéntrico global 3D que rota juntamente con la corteza de la Tierra en su movimiento diurno en el espacio¹⁵.

La realización actual del ITRS es la solución ITRF2014, publicada por el IERS el 22 de enero de 2016. La solución ITRF2014 reemplaza la solución ITRF2008 que fue publicada por el IERS el 31 de mayo de 2010.

ITRF2014 consta de conjuntos de posiciones y velocidades de estación con su varianza /matrices de covarianza. Se ha calculado utilizando soluciones de cuatro técnicas geodésicas espaciales diferentes: VLBI (interferometría de línea de base muy larga), SLR (distancia por láser satelital), DORIS (orbitografía Doppler y radioposicionamiento integrado por satélite) y GPS (sistema de posicionamiento global). Centros técnicos: Servicio internacional VLBI para geodesia y astrometría (IVS; ivscc.gsfc.nasa.gov), Servicio internacional de medición de distancia por láser (ILRS; ilrs.gsfc.nasa.gov), el Servicio Internacional DORIS (IDS; ids-doris.org) y el Servicio Internacional GNSS (IGS; igsceb.jpl.nasa.gov).

¹⁵ Wilfredo Amaya Zelaya (2020). *GPS APLICADO A PROYECTOS DE INGENIERIA CIVIL: Sistema de referencia geodésicos*, Universidad de El Salvador. San Salvador, El Salvador

Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas (SIRGAS):

Sistema de referencia regional, densificación del ITRF, inicialmente establecido para América del Sur y luego extendido al Caribe, Norte y Centro América, en el año 2000. Actualmente tiene un promedio de 200 estaciones de operación continua¹⁶.

3.3.1 Elipsoide WGS-84/GRS80/SIRGAS-ES2007

El elipsoide **WGS84** se obtuvo con la creación del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) y es uno de los más usados en todo el mundo.

El **GRS80**, prácticamente idéntico al WGS84, es el oficial de la Unión Europea y desde agosto 2007 en España¹⁷.

SIRGAS es el **Sistema de Referencia Geodésico para las Américas**. Su definición es idéntica a la del Sistema Internacional de Referencia Terrestre (ITRS: International Terrestrial Reference System)¹⁸ y su realización es una

¹⁶ colaboradores de Wikipedia. (2023a). SIRGAS. Wikipedia, la enciclopedia libre. <https://es.wikipedia.org/wiki/SIRGAS>

¹⁷ Calderón, M. M. (2020b, marzo 20). Conceptos geodésicos básicos. Estudios en Sostenibilidad. <https://www.michaelmoya.com/2020/03/conceptos-geodesicos>

¹⁸ München, D. G. F. D. T. U. (s. f.). Acerca de SIRGAS | SIRGAS Analysis Centre at DGFI-TUM. <https://www.sirgas.org/es/sirgas->

densificación regional del Marco Internacional de Referencia Terrestre (ITRF: International Terrestrial Reference Frame) en las Américas y el Caribe. Además del sistema de referencia geométrico, SIRGAS se ocupa de la definición y realización de un sistema vertical de referencia basado en alturas elipsoidales como componente geométrica y en números geopotenciales (referidos a un valor W_0 global convencional) como componente física.

SIRGAS inició en la Conferencia Internacional para la Definición de un Sistema de Referencia Geocéntrico para América del Sur celebrada en Asunción, Paraguay, en 1993.

Esta Conferencia fue convocada y patrocinada por la Asociación Internacional de Geodesia (IAG: International Association of Geodesy), el Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH) y la US Defense Mapping Agency (NIMA), actualmente, National Geospatial-Intelligence Agency (NGA). El nombre inicial de SIRGAS (Sistema de Referencia Geocéntrico para América del Sur) fue cambiado en febrero de 2001 a Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas, dada la extensión del marco de referencia

*definition/#:~:text=SIRGAS%20como%20sistema%20de%20referencia%20se%20defi
ne%20id%C3%A9ntico%20al%20Sistema,(International%20Terrestrial%20Reference
%20Frame).*

(SIRGAS2000) y la recomendación de la Organización de las Naciones Unidas en su Séptima Conferencia Cartográfica de las Américas (Nueva York, enero 22 al 26 de 2001) sobre la adopción de SIRGAS como sistema de referencia oficial en todos los países de las Américas.

Finalmente, en el mes de noviembre de 2020, debido a una actualización al estatuto de la Organización y sus objetivos, el nombre de SIRGAS cambió a Sistema de Referencia Geodésico para las Américas.

El marco de referencia de El Salvador está constituido por una red geodésica de referencia con 38 estaciones (Red Geodésica Básica Nacional de El Salvador) distribuidas homogéneamente sobre el país.

Dichas estaciones fueron determinadas en subredes mediante posicionamiento GPS diferencial en sesiones diarias entre octubre y diciembre de 2007.

La mayoría de las estaciones de referencia cuenta con un punto auxiliar (estación excéntrica) de modo que se garantizó la estabilidad y perdurabilidad de la red a largo plazo.

Los datos son los obtenidos del procesamiento adelantado por el DGFI (Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut) dentro de las actividades del Grupo de Trabajo II de SIRGAS (SIRGAS-GTII: Datum Geocéntrico).

La estrategia de análisis aplicada se basa en el método de diferencias dobles, apoyó en las siguientes características de procesamiento:

1. Se introdujo como valores conocidos las órbitas satelitales, los parámetros de orientación terrestre y las correcciones a los relojes de los satélites calculados por el IGS (International GNSS Service) en sus combinaciones semanales;
2. Las variaciones de los centros de fase de las antenas GPS utilizadas en la ocupación de la red son corregidas aplicando los valores absolutos publicados por el IGS;
3. Las ambigüedades de las ondas L1 y L2 se determinan mediante la estrategia QIF (quasi ionosphere free), incluyendo modelos ionosféricos a priori;
4. Los movimientos periódicos generados por la carga oceánica sobre las estaciones son reducidos de acuerdo con el modelo de mareas oceánicas FES2004;
5. El retardo causado por la refracción troposférica (componente húmedo de la troposfera) se estima dentro del ajuste de la red en intervalos de dos horas.

6. En el cálculo de la red se incluyen 25 estaciones SIRGAS-CON (red SIRGAS de operación continua) para definir el datum geodésico de la nueva red salvadoreña y validar las coordenadas obtenidas.

Este procedimiento es aplicado para calcular soluciones libres de las subredes diarias. Posteriormente, las ecuaciones normales obtenidas son combinadas en una solución integral que incluye todas las estaciones y todos los días de observación¹⁹.

El datum geodésico se define introduciendo como valores conocidos las coordenadas de una selección de estaciones SIRGAS-CON. El análisis completo de la red se adelanta con el software Bernese V. 5.0. Las coordenadas definitivas de la red están dadas en el marco de referencia SIRGAS (equivalente al IGS05, realización IGS de ITRF2005) para la época 2007.8, por ello la red se identifica como SIRGAS-ES2007 (SIRGAS El Salvador 2007).

19

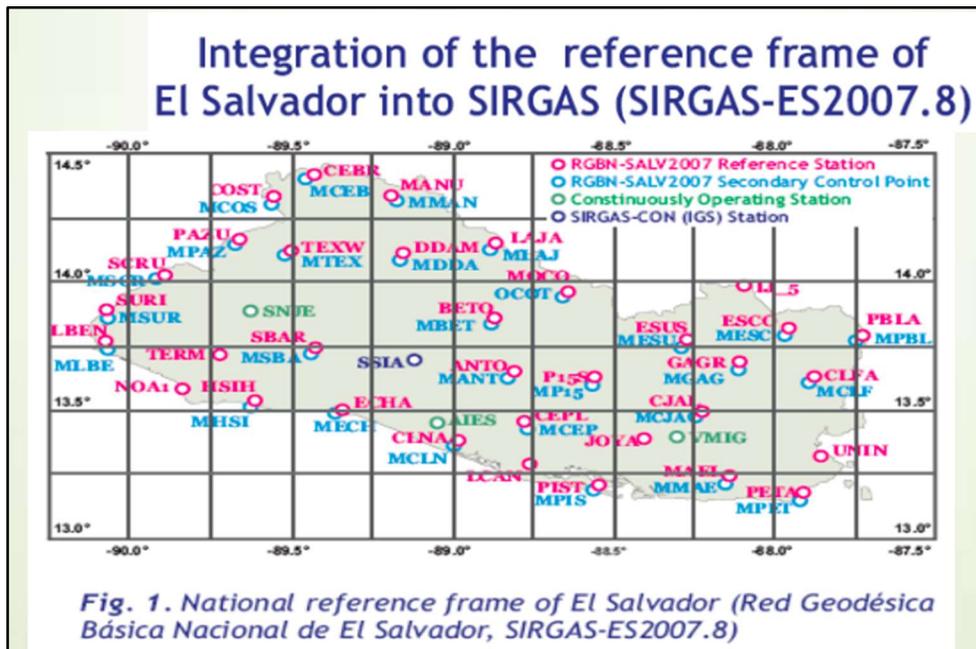


Figura 0.15 Red Geodésica Básica de El Salvador.

Fuente: Documento GPS aplicado a Ingeniería Civil.

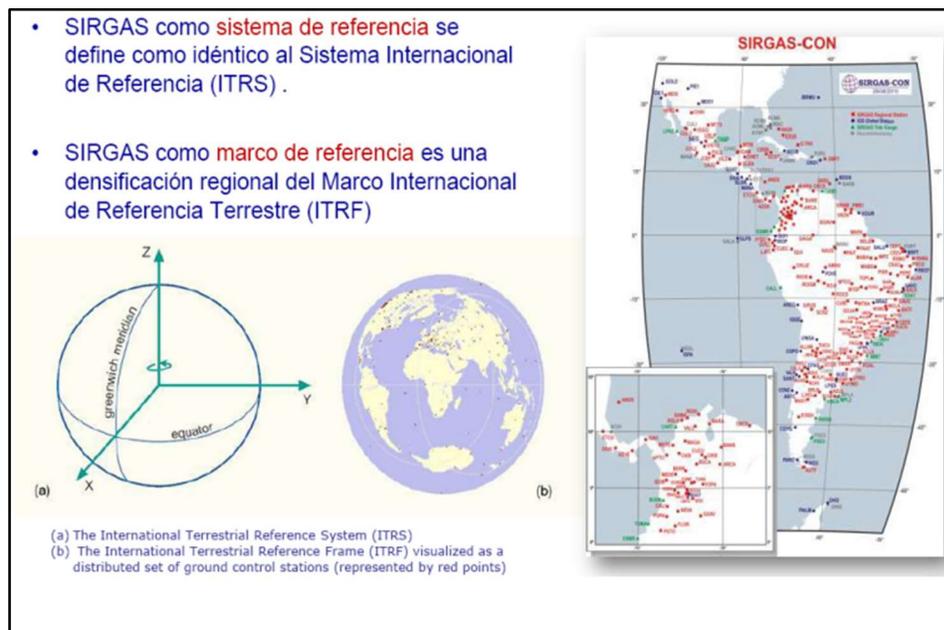


Figura 0.16 Estaciones de Referencia de la Red SIRGAS 2000.

Fuente: Documento GPS aplicado a Ingeniería Civil.

3.3.2 Datum WGS84

El Datum WGS-84 es un Datum geodésico mundial que está definido por el tamaño, forma y orientación del elipsoide WGS-84, cuyo origen es el centro de masas de la tierra. El Datum Global es el WGS-1984 y es Geocéntrico, es decir su origen es el Centro de Masa de la tierra (figura 3.17).

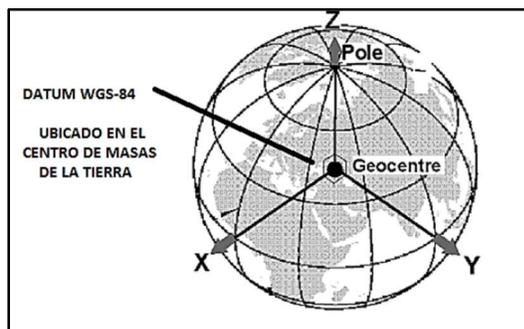


Figura 0.17 Ubicación del Datum WGS-84.

Fuente: Documento GPS aplicado a Ingeniería.

El Sistema Geodésico Mundial (WGS84) es el sistema de coordenadas de referencia utilizado por el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), y esta es una de las principales ventajas que este sistema tiene respecto a los sistemas de referencia locales que no son compatibles con los sistemas²⁰ (GPS).

3.4 Proyección Cartográfica.

Una proyección cartográfica (también llamada proyección geográfica) es una manera de representar visualmente una porción de la corteza terrestre, que realiza una equivalencia entre la curvatura natural del planeta y la superficie plana

²⁰ Wilfredo Amaya Zelaya (2020). *GPS APLICADO A PROYECTOS DE INGENIERIA CIVIL: Sistema de posicionamiento global*, Universidad de El Salvador. San Salvador, El Salvador.

de un mapa. Consiste, fundamentalmente, transformar a un plano la forma convexa de la superficie terrestre, distorsionándola lo menos posible.²¹



Figura 0.18 Cartografía.

Fuente: www.cartomap.cl

Se trata de un procedimiento propio de la creación de los mapas por parte de los cartógrafos, quienes deben guiarse por el sistema de coordenadas que componen los meridianos y los paralelos terrestres para construir una representación espacial que sea fiel a las proporciones de la curvatura del planeta.

²¹ *Proyección cartográfica - Concepto, propiedades y ejemplos. (s. f.). Concepto.*
<https://concepto.de/proyeccion-cartografica/>

Esto, sin embargo, no puede hacerse sin un cierto margen de error, de modo que las proyecciones se estudian con el fin de disminuir la distorsión en la medida de lo posible y preservar, sobre todo, los tres aspectos fundamentales de un mapa: la distancia, la superficie y la forma.

Clasificación de las proyecciones²².

Las proyecciones, en general, se clasifican según: Superficie sobre la que se proyecta.

- Posición de la superficie respecto al eje terrestre.
- Las deformaciones.
- La posición del centro de proyección (azimutales).

Clasificación de las proyecciones en función de la superficie sobre la que se proyecta.

- Proyección Cilíndrica: son las proyecciones que emplean un cilindro imaginario como superficie del mapa. Ver Figura 3.19.
- Proyección Cónica: estas proyecciones se obtienen al ubicar la esfera terrestre dentro de la curvatura interior de un cono tangente o secante

²² Gutiérrez, Juan E. *topografía para las Tropas 7ª Edición. Chile, 2005, IGM.*

imaginario, sobre el cual se proyectarán los paralelos y los meridianos. Ver Figura 3.19.

- Proyección Azimutal: cuando la proyección se hace sobre un plano (generalmente tangente a la esfera). Ver Figura 3.19

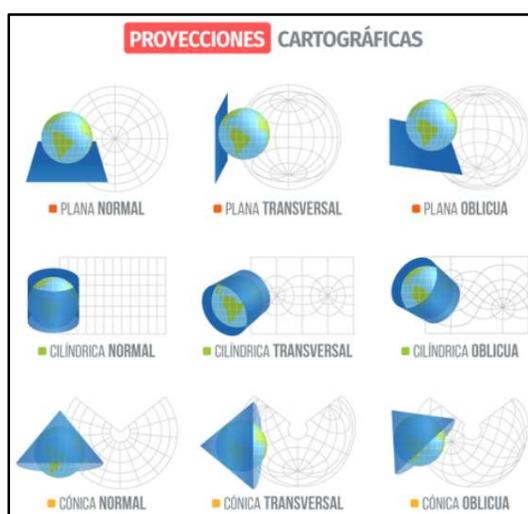


Figura 0.19 Proyecciones Cartográficas.

Fuente: Máster Gis.

Proyección cilíndrica

Como su nombre lo indica, son las proyecciones que emplean un cilindro imaginario como superficie del mapa. Ubicado de manera secante o tangente a la superficie esférica del planeta, este cilindro cuenta con buena conformidad

(respeta las formas), pero a medida que nos alejamos del ecuador, se produce una mayor y más notoria distorsión en cuanto a distancias y superficies. Aun así, al preservar la perpendicularidad entre meridianos y paralelos, es un tipo de proyección sencilla y útil, muy empleada en la navegación. Ver Figura 3.20.

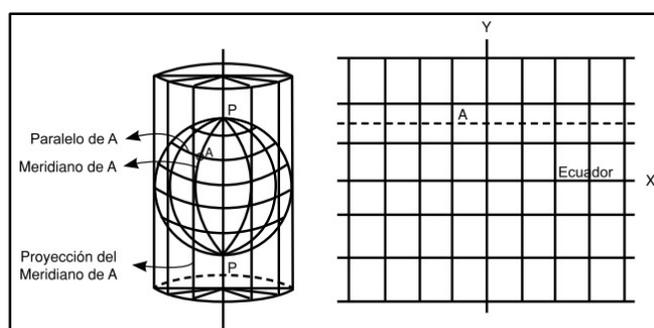


Figura 0.20 Proyección Cilíndrica.

Fuente: www.cartomap.cl

Algunas proyecciones cilíndricas son:

- Proyección Cilíndrica conforme de Mercator (transversal u oblicua)
- Proyección Cilíndrica equivalente de Lambert (transversal u oblicua)
- Proyección Cilíndrica equidistante de Cassini.

Proyección cónica

De manera similar a las cilíndricas, estas proyecciones se obtienen al ubicar la esfera terrestre dentro de la curvatura interior de un cono tangente o

secante imaginario, sobre el cual se proyectarán los paralelos y los meridianos. Este tipo de proyecciones tienen la virtud de tornar los meridianos en líneas rectas que parten del polo, y los paralelos en circunferencias concéntricas dentro del cono. El mapa obtenido es ideal para representar las latitudes medias, porque presenta mayor distorsión a medida que se avanza hacia los polos.

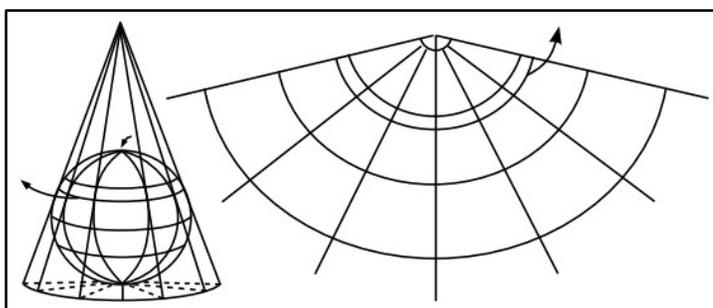


Figura 0.21 Proyección Cónica.

Fuente: www.cartomap.cl

Algunas proyecciones cónicas son:

- Proyección Cónica conforme de Lambert.
- Proyección Cónica equivalente de Lambert.
- Proyección Cónica equidistante.

Proyección azimutal

También llamadas proyecciones cenitales, se obtienen colocando la esfera terrestre sobre un plano imaginario, tangente a la esfera misma, sobre el cual se proyectan los meridianos y los paralelos. El punto de vista obtenido se corresponde con la visión del mundo desde el centro de la Tierra (proyección gnomónica) o desde un planeta lejano (proyección ortográfica). Estas proyecciones son idóneas para conservar la relación entre los polos y los hemisferios, por lo que son fieles en las regiones de altas latitudes; pero presentan una creciente distorsión cuanto mayor sea la distancia entre el punto tangencial del plano y de la esfera, de modo que no son idóneas para representar fielmente la región ecuatorial.

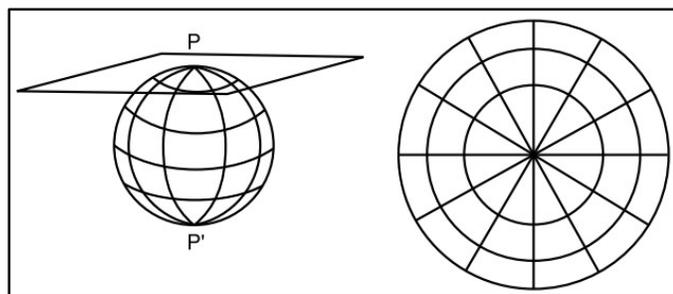


Figura 0.22 Proyección Azimutal.

Fuente: www.cartomap.cl

Algunas proyecciones azimutales son:

- Proyección azimutal conforme (estereográfica, en sus tres variaciones).

- Proyección azimutal equivalente de Lambert.

Clasificación de las proyecciones en función de la posición de la superficie desarrollable respecto al eje terrestre.

- **Normal:** Cuando el eje del cilindro (o cono) coincide con el eje de la Tierra.
- **Transversal o Ecuatorial:** Cuando el eje del cilindro o cono es perpendicular al eje de la Tierra.
- **Oblicua:** Cuando el eje del cilindro (o cono) forma un ángulo α , tal que $0^\circ < \alpha < 90^\circ$.

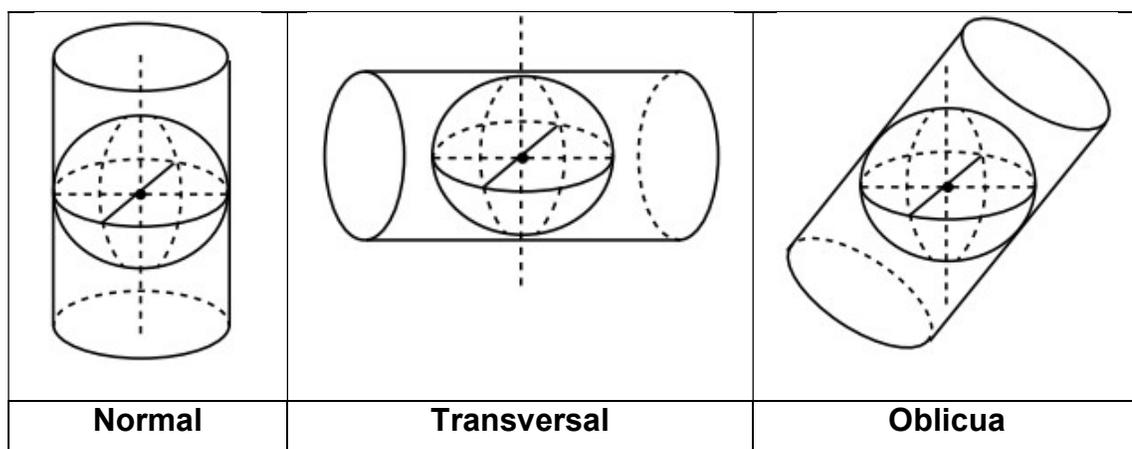


Figura 0.23 Clasificación de las Proyecciones.

Fuente: www.cartomap.cl

Del mismo modo, para el caso de una proyección azimutal se tiene:

- **Proyección Polar o normal:** cuando el plano sobre el que se proyecta es perpendicular al eje de la Tierra
- **Proyección Ecuatorial o transversal:** cuando el plano es perpendicular al plano del Ecuador
- **Proyección Oblicua:** cuando el plano está en posición intermedia entre la proyección polar y ecuatorial

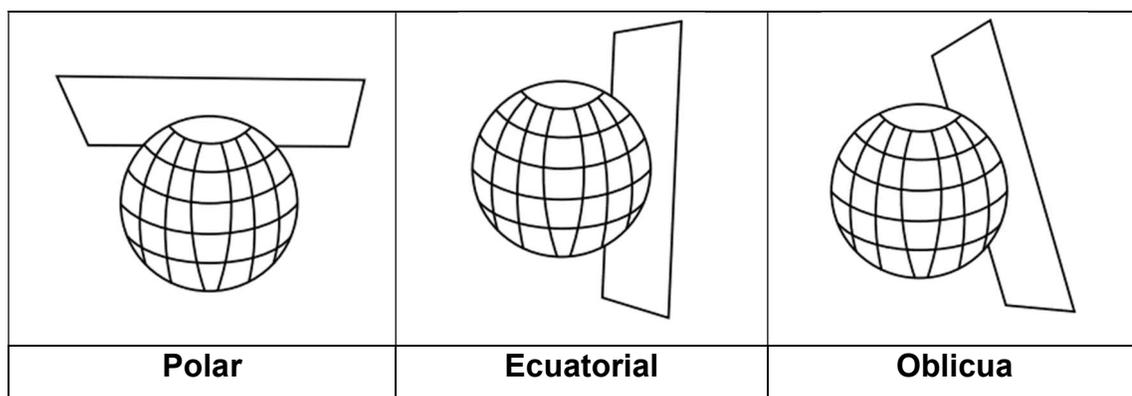


Figura 0.24 Proyecciones.

Fuente: www.cartomap.cl

Clasificación de las proyecciones según la posición del centro de proyección (azimutales)

Del mismo modo, para el caso de una proyección azimutal se tiene:

- Proyección Perspectiva.
- Proyección Cuasi Perspectiva.
- Proyección Seudo Perspectiva.

Propiedades de las proyecciones cartográficas.

Todas las proyecciones cartográficas presentan rasgos característicos que tienen que ver con el tipo de transformación o el procedimiento geométrico empleado para hacerla. Así, una proyección geográfica puede tener una o dos de las siguientes tres propiedades, pero en ningún caso puede cumplir con las tres al mismo tiempo²³:

- **Equidistancia:** la proyección es fiel a las distancias del original, es decir, no las agranda ni las achica, sino que mantiene su proporción en la escala correspondiente.
- **Equivalencia:** la proyección es fiel a las áreas de las superficies del original, es decir, no distorsiona los tamaños y las dimensiones de las superficies.
- **Conformidad:** la proyección es fiel a las formas y los ángulos del original, es decir, no distorsiona la silueta o la apariencia de la superficie representada.

²³ Gutiérrez, Juan E. *topografía para las Tropas 7ª Edición. Chile, 2005, IGM.*

- **Afilácticas:** se incluyen en esta categoría aquellas proyecciones que no son ni conformes ni equiáreas.

En cada proyección se busca cumplir lo más posible con estas tres propiedades fundamentales, aunque generalmente se sacrifique alguna más que otra dependiendo de la utilidad específica del mapa proyectado.

Por ejemplo, si se trata de un mapamundi o planisferio escolar, en general se respeta más la forma de los continentes (conformidad) que la distancia entre ellos (equidistancia) y la superficie de cada uno (equidistancia), por lo tanto, la proyección dependerá de diferentes factores, que estos variaran de acuerdo con la finalidad y aplicación que se le dará al mapa, del área a cartografiar, de la forma del territorio, entre otros.

3.4.1 *Proyección Universal Transversal de Mercator.*

Historia

El sistema de coordenadas UTM fue desarrollado por el *Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos* en la década de 1940. El sistema se basó en un modelo elipsoidal de la Tierra. Se usó el elipsoide de Clarke de 1866 para el territorio de los 48 estados contiguos. Para el resto del mundo —

incluidos Alaska y Hawái—, se usó el Elipsoide Internacional. Actualmente se usa el elipsoide WGS84 como modelo de base para el sistema de coordenadas UTM.

Con anterioridad al desarrollo del sistema de coordenadas UTM varios países europeos ya habían experimentado la utilidad de mapas cuadrículados, en proyección conforme, al cartografiar sus territorios en el período de entreguerras. El cálculo de distancias entre dos puntos con esos mapas sobre el terreno se hacía más fácil usando el teorema de Pitágoras, al contrario que con las fórmulas trigonométricas que había que emplear con los mapas referenciados en longitud y latitud. En los años de postguerra estos conceptos se extendieron al sistema de coordenadas basado en las proyecciones Universal Transversa de Mercator y Estereográfica Polar Universal, que es un sistema cartográfico mundial basado en cuadrícula recta.

La proyección transversal de Mercator es una variante de la proyección de Mercator que fue desarrollada por el geógrafo flamenco Gerardus Mercator en 1569. Esta proyección es conforme, es decir, que conserva los ángulos y casi no distorsiona las formas, pero inevitablemente sí lo hace con distancias y áreas. El sistema UTM implica el uso de escalas no lineales para las coordenadas X e Y (longitud y latitud cartográficas) para asegurar que el mapa proyectado resulte

conforme. las coordenadas UTM, son también reconocidas como coordenadas planas.²⁴

Definición.

El sistema de coordenadas universal transversal de Mercator (en inglés Universal Transverse Mercator, UTM) 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. El factor de escala en la dirección del paralelo y en la dirección del meridiano son iguales ($h = k$). Las líneas loxodrómicas se representan como líneas rectas sobre el mapa. Los paralelos se proyectan sobre el plano con una separación proporcional a la del modelo, así hay equidistancia entre ellos. Sin embargo, los meridianos se van separando a medida que se aleja del meridiano central. Además, es una proyección compuesta; la esfera se

²⁴ *colaboradores de Wikipedia. (2022). Sistema de coordenadas universal transversal de Mercator. Wikipedia, la enciclopedia libre. https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_coordenadas_universal_transversal_de_Mercator*

representa en trozos, no entera. Para ello se divide la Tierra en zonas o husos de 6° de longitud cada uno, mediante el artificio de Tyson.

La proyección UTM tiene la ventaja de que ningún punto está demasiado alejado del meridiano central de su zona, por lo que las distorsiones son pequeñas. Pero esto se consigue al coste de la discontinuidad: un punto en el límite de la zona se proyecta en coordenadas distintas propias de cada Huso.

Para evitar estas discontinuidades, a veces se extienden las zonas, para que el meridiano tangente sea el mismo. Esto permite mapas continuos casi compatibles con el estándar. Sin embargo, en los límites de esas zonas, las distorsiones son mayores que en las zonas estándar.

A diferencia del sistema de coordenadas geográficas, expresadas en longitud y latitud, las magnitudes en el sistema UTM se expresan en metros.

Características de la proyección UTM:

- Es una proyección cilíndrica: Se obtiene proyectando el globo terráqueo sobre una superficie cilíndrica.
- Es una proyección transversal: El cilindro es tangente a la superficie terrestre según un meridiano. El eje del cilindro coincide, pues, con el eje ecuatorial.

- Es una proyección conforme: Mantiene el valor de los ángulos. Si se mide un ángulo sobre la proyección coincide con la medida sobre el elipsoide terrestre.

Ventajas de la proyección UTM²⁵:

- Los paralelos y los meridianos aparecen representados mediante líneas rectas formando una cuadrícula. El sistema de coordenadas pasa de ser esférico a ser rectangular. Resulta sencillo señalar puntos y trazar rumbos entre ellos.
- Las distancias se miden fácilmente. A distancias pequeñas la línea que une dos puntos es una recta (Esto que parece obvio no lo es tanto, si pones los dedos entre dos puntos de una bola del mundo verás que la distancia más corta entre ellos es una línea curva trazada sobre la superficie terrestre).
- Para áreas pequeñas se conserva la forma de los accidentes geográficos sin deformación significativa.

²⁵ AristaSur. (2022b, diciembre 19). Sistema de Coordenadas Geográficas: UTM. AristaSur. <https://www.aristasur.com/contenido/sistema-de-coordenadas-geograficas-utm>

- Los rumbos y las direcciones se marcan con facilidad.

Desventajas de la proyección UTM:

- No existe una uniformidad en la escala de distancias. Las distancias se agrandan a medida que nos separamos del punto de tangencia esfera-cilindro en la dirección perpendicular al cilindro.
- En latitudes elevadas, alejándonos del punto de tangencia, la deformación es cada vez más importante.
- No se guarda proporción entre las superficies a diferentes latitudes.
- No se pueden representar las zonas polares.

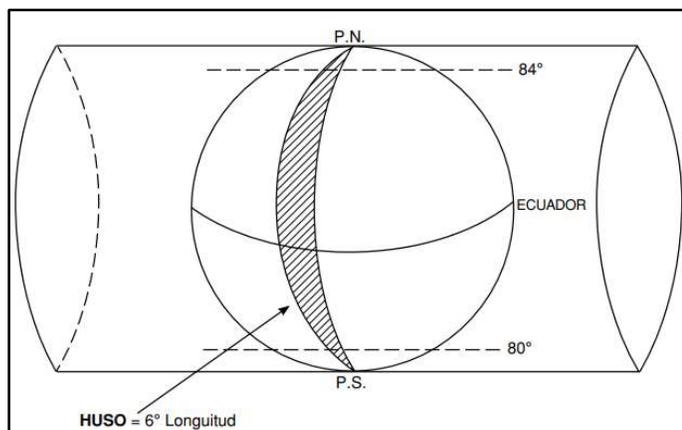


Figura 0.25 Proyección Cilíndrica.

Fuente: www.cartomap.cl

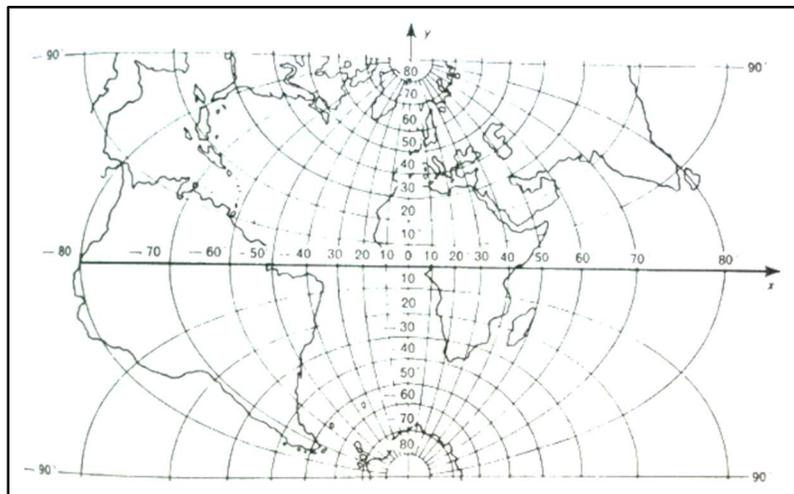


Figura 0.26 UTM Distorsión.

Fuente: www.cartomap.cl

La siguiente figura muestra el resultado de la proyección U.T.M. sobre el meridiano de Greenwich (en la parte superior el hemisferio correspondiente al antimeridiano 80° y en la parte inferior el hemisferio correspondiente al propio meridiano 0°).

Husos y zonas.

“Para resolver el problema de la deformación de la proyección UTM a medida que nos alejamos del meridiano de tangencia lo que se ha hecho es subdividir la superficie terrestre en 60 husos iguales de 6 grados de longitud. Con

ello resultan 60 proyecciones iguales, pero cada una con su respectivo meridiano central. Cada huso debe imaginarse como un gajo de una naranja”²⁶.

Los husos se numeran del 1 al 60 comenzando desde el antimeridiano de Greenwich (180°) hacia el Este. De este modo el huso comprendido entre 180° W y 174° W es el primero.

A su vez, dentro de cada huso se establece una división en zonas (o bandas). Cada zona posee 8° de Latitud y 6° de Longitud, y se designa con el número de su huso y una letra mayúscula. Para ello se ha seguido la dirección de Sur a Norte y se ha empezado por la letra C siguiéndose el alfabeto suprimiéndose las vocales y las letras que pueden confundirse con un número (la B, la O y la letra P).

Las zonas entre la C y la L corresponden al hemisferio Sur.

Las zonas entre la M y la X corresponden al hemisferio Norte. Como excepción, la zona X posee 12° de latitud y se extiende desde los 72° N hasta los 84° N.

²⁶ AristaSur. (2022b, diciembre 19). *Sistema de Coordenadas Geográficas: UTM*. AristaSur. <https://www.aristasur.com/contenido/sistema-de-coordenadas-geograficas-utm>

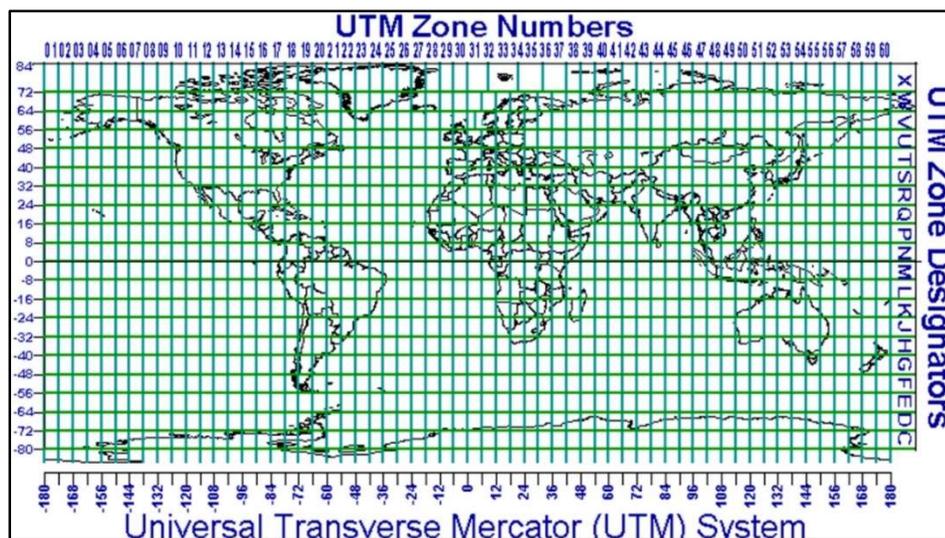


Figura 0.27 Cuadrícula Husos UTM.

Fuente: www.aristasur.com

En ocasiones, no se utiliza la división en zonas anterior, y se realiza una división simple entre zona hemisferio Sur (indicado con una S seguida del huso) y zona hemisferio Norte (indicado con una N seguida del huso). En este caso podemos conocer la zona concreta gracias a la siguiente tabla, ya que sabemos cuántos grados hay de distancia entre cada zona:

Zona simple	Zona UTM	Rango latitud	Zona simple	Zona UTM	Rango latitud
S	C	72°-80°	N	N	0°-8°
S	D	64°-72°	N	P	8°-16°
S	E	56°-64°	N	Q	16°-24°
S	F	48°-56°	N	R	24°-32°
S	G	40°-48°	N	S	32°-40°
S	H	32°-40°	N	T	40°-48°
S	J	24°-32°	N	U	48°-56°
S	K	16°-24°	N	V	56°-64°
S	L	8°-16°	N	W	64°-72°
S	M	0°-8°	N	X	72°-84°

Tabla 0.3 Zonas y Husos.

Fuente: www.aristasur.com

Geometría del Huso y Ejes Cartesianos.

Como hemos dicho, cada huso tiene una longitud de 6° (ancho del huso), existiendo un meridiano central a los 3° de longitud que lo divide en dos partes iguales y que se utiliza para la proyección UTM de dicho huso. Además, cada huso está dividido por el paralelo origen Ecuador (alto del huso), que lo divide en dos partes iguales según los hemisferios.

Este meridiano central y el Ecuador son los que van a establecer dos ejes cartesianos en el huso para poder posicionar un punto en toda su superficie. El meridiano central de la zona será el eje X, mientras que el Ecuador será el eje Y.

El eje X tendrá su origen en el meridiano central de la zona, pero tendrá un valor de 500000, disminuyendo hacia el oeste e incrementando hacia el este. Se ha establecido así para tener siempre valores positivos en el eje X.

El eje Y tendrá su origen en el Ecuador, pero lo de hace una manera particular. En el hemisferio norte el Ecuador tendrá el valor 0 incrementando hacia el norte hasta llegar al valor 10000000 en el Polo Norte. Mientras que en el hemisferio sur el Ecuador tendrá el valor 10000000 decrecentando hacia el sur hasta llegar al valor 0 en el Polo Sur. Se ha establecido así para tener siempre valores positivos en el eje Y.²⁷

²⁷ AristaSur. (2022b, diciembre 19). Sistema de Coordenadas Geográficas: UTM. AristaSur. <https://www.aristasur.com/contenido/sistema-de-coordenadas-geograficas-utm>

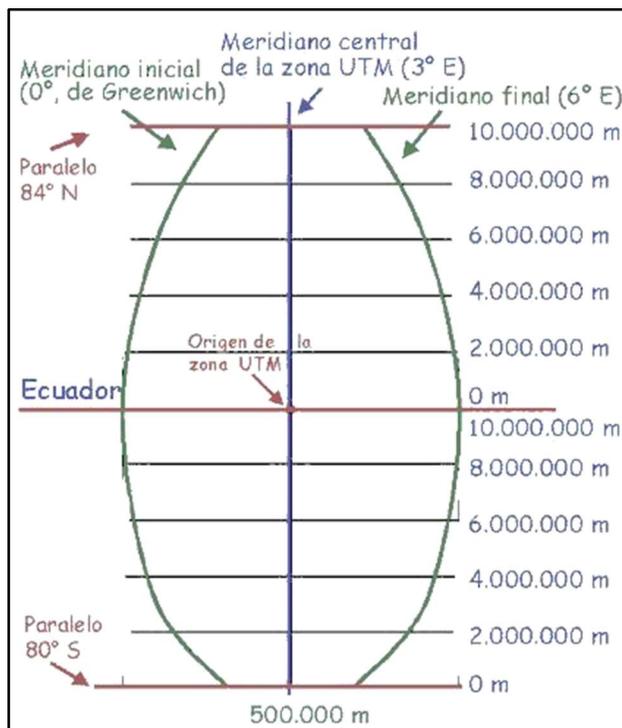


Figura 0.28 Geometría del huso y ejes cartesianos.

Fuente: www.aristasur.com

Por tanto, debido a esta elección de ejes cartesianos, un punto X y un punto Y referencian una posición en el huso, pero éste es ilocalizable hasta que no se indica en qué huso están y en qué hemisferio.

Con respecto a distancias, cada valor del eje X e Y representa 1 metro en la realidad, por lo que un punto referenciado con estas dos coordenadas nos está haciendo referencia a una zona de 1 metro cuadrado de superficie realmente.

Coordenadas geográficas UTM

Con todo lo anterior, somos capaces de definir una coordenada geográfica en el sistema UTM, compuesta por los siguientes valores:

Huso Zona Coordenada_X Coordenada_Y

Además de estos valores, la coordenada debe venir acompañada del Datum de referencia con el que se realizó la proyección, ya que si no el valor puede diferir bastante al posicionarlo sobre un mapa topográfico.

3.4.2 Proyección Cónica Conformal de Lambert.

Historia

La proyección Cónica Conformal de Lambert, es una de las proyecciones cónicas más usadas, populares y conocidas junto con la proyección de Mercator, presentada por el matemático, físico, filósofo y astrónomo, Johann Heinrich Lambert en su publicación de 1772, antes de la Primera Guerra Mundial se utilizaba muy poco, pero ahora se emplea en la cartografía topográfica oficial en todo el mundo. También es utilizado en el sistema de coordenadas estatal para todas las zonas con extensión predominante este-oeste.²⁸

²⁸ colaboradores de Wikipedia. (2022a). Proyección conforme de Lambert. Wikipedia, la enciclopedia libre. https://es.wikipedia.org/wiki/Proyecci%C3%B3n_conforme_de_Lambert

La proyección superpone un cono sobre la esfera de la Tierra, con dos paralelos de referencia secantes al globo e intersecándolo. Esto minimiza la distorsión proveniente proyectar una superficie tridimensional a una bidimensional. La distorsión es nula a lo largo de los paralelos de referencia, y se incrementa fuera de los paralelos elegidos, como el nombre lo indica, esta proyección es conforme.

Definición.

Conceptualmente, la proyección asienta un cono sobre la esfera de la Tierra y proyecta la superficie de manera conforme sobre el cono. Se desenrolla el cono y se le asigna escala unitaria al paralelo que tocaba la esfera; ese paralelo se llama paralelo de referencia o paralelo estándar.

En esta proyección los paralelos están espaciados de tal manera que cualquier pequeño rectángulo de la red, tenga las mismas formas que en el globo. Esta es la mejor proyección para las cartas de navegación aérea, pues tiene azimutes relativamente rectos. Usada para mostrar países o regiones que se extienden principalmente en forma este-oeste. Es una de las proyecciones más usadas en Estados Unidos hoy día. Es parecida a la Cónica de Albers pero el espacio de cuadrícula difiere. Retiene la conformidad.

Las distancias son reales solamente a lo largo de los paralelos estándares; son razonablemente fieles en otras partes, pero en regiones limitadas. La distorsión de áreas y formas es mínima, pero aumenta a partir de los paralelos estándares. Las formas en mapas a gran escala de áreas pequeñas son reales en general. El mapa es conforme, pero no es perspectivo, equiáreas ni equidistante.

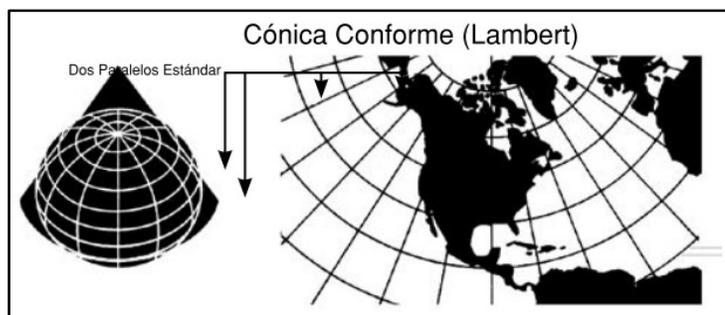


Figura 0.29 Cónica Conforme Lambert.

Fuente: es.wikipedia.org

Características de la proyección Cónica Conformal de Lambert:

- Es una proyección cónica: asienta un cono sobre la esfera de la Tierra y proyecta la superficie de manera conforme sobre el cono.
- Es una proyección conforme: Mantiene el valor de los ángulos. Si se mide un ángulo sobre la proyección coincide con la medida sobre el elipsoide terrestre.

Ventajas de la Proyección Cónica Conformal de Lambert:

- La mayor ventaja de la proyección del mapa cónico conforme de Lambert es cómo retiene la conformidad. A pesar de que las distancias son razonablemente precisas y se mantienen a lo largo de los paralelos estándar, no es la misma área a medida que la distorsión se aleja de los paralelos estándar.

Desventajas de la Proyección Cónica Conformal de Lambert:

- Está indicada para áreas cuya disposición es principalmente este-oeste y se encuentran en las latitudes medias norte o sur. El rango de latitud total no debe superar los 35°.

3.4.3 Utilización de Proyección Cónica Conformal de Lambert en El

Salvador

3.4.3.1 Proyección Cónica Conformal de Lambert asociada al Datum NAD27.

El Salvador adoptó en 1962 definitivamente el DATUM NAD27, asociado al elipsoide de Clarke 1866, toda la información geodésica y cartográfica antigua esta referida a dicho DATUM.

Proyección	LAMBERT NAD27
Coordenadas de entrada	Latitud (φ) y longitud (λ) referidas a NAD27
Elipsoide	Clark 1866
Semieje mayor	a = 6 378 206,4 m
Semieje menor	b = 6 356 583,8 m
Achatamiento	1/f = 294,978 698 21390
Excentricidad	e ² = 0,006 768 657 997 291
Parámetros de la proyección	
Falso Este	500000.00 m
Falso Norte	295809.184 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 origen:	0.999 96704

Tabla 0.4 Proyección cónica Conformal de LAMBERT NAD 27

Fuente: Material de apoyo de Técnica Electiva GPS aplicado a proyectos de Ingeniería Civil.

3.4.3.2 Proyección Cónica Conformal de Lambert asociada al Datum SIRGAS-ES2007.

En el 2007, la Unidad de Levantamiento de Control Geodésico de la Gerencia de Geodesia del IGCN, realizó el posicionamiento GPS de los vértices de la red SIRGAS-ES2007, con el objetivo principal de suministrar una plataforma de referencia moderna, precisa y confiable a los productores y usuarios de información georreferenciada en el país.

Proyección	Lambert SIRGAS-ES2007
Coordenadas de entrada	Latitud (φ) y longitud (λ) referidas a WGS-84
Elipsoide	WGS-1984/GRS80
Semieje mayor	a = 6 378 137 m
Semieje menor	b = 6 356 752.31414 m
Achatamiento	1/f = 298.257222101
Excentricidad	e ² = 0,0066943800229
Parámetros de la proyección	
Falso Este	500000.00 m
Falso Norte	295809.184 m
Paralelo de origen	<u>13° 47' 03.477624" N (valor en SIRGAS)</u>
Meridiano de origen	<u>88° 59' 59.938692" W (valor en SIRGAS)</u>
1. paralelo estándar	<u>13° 19' 03.477624" N (valor en SIRGAS)</u>
2. paralelo estándar	<u>14° 15' 03.477624" N (valor en SIRGAS)</u>
Factor de escala en el meridiano origen:	0.999 96704

Tabla 0.5 Proyección cónica Conformal de LAMBERT SIRGAS-ES2007.

Fuente: Material de apoyo de Técnica Electiva GPS aplicado a proyectos de Ingeniería Civil.

Comparación de sistemas de referencias utilizados en El Salvador.

Desde la década de los años 60's hasta el año 2016 El Salvador hacia uso de Lambert NAD27 como sistema de referencia de coordenadas por la razón que no se encontraba la manera viable de realizar un cambio de sistema al no contar con el apoyo del exterior como el proporcionado por los Estados Unidos de América por razones geopolíticas sucedidos al principio del siglo XXI.

Sin embargo, se inició con la ejecución de proyectos locales en el hemisferio sur del continente americano con la insignia de SIRGAS (Sistema de Referencia Geodésico para las Américas) que de mano con el Instituto Geográfico Nacional de Francia (Institut Géographique National - IGN) e Instituto Alemán de Investigaciones Geodésicas (Deutsches Geodätisches Forschungs Institut – DGFI).

Lo anterior generó interés en El Salvador para la determinación de parámetros propios para el país y así poder actualizar el sistema de referencia como se estaba realizando en Sudamérica y Europa siendo este último que ya no utilizaron el datum Europeo 1950 (datum antiguo) al realizar la conversión de las coordenadas geográficas WGS-84 a coordenadas planas, sino que utilizaban datums locales por país. Por lo que, como parte de las alianzas entre las instituciones encargadas del manejo y producción de información geográfica de El Salvador y Francia, en el año 2001 se desarrolló un proyecto de consultoría en el cual el Instituto Geográfico Nacional de Francia (Institut Géographique National

- IGN) brindo sus servicios al Instituto Geográfico y del Catastro Nacional de El Salvador (IGCN) con el fin principal de la actualización de las proyecciones cartográficas de El Salvador incluyendo la revisión y modernización del Datum NAD27.

El proyecto de la actualización de los parámetros en el país fue liderado por el Ing. Guillé Canu de Francia y el Ing. Wilfredo Amaya Zelaya como representante salvadoreño, siguiendo la metodología del estudio de la red geodésica nacional y determinación de parámetros de transición de los sistemas de referencia con el uso de programación computacional.

Los parámetros anteriormente presentados contaban con la desventaja de no ser geocéntrico, pero así se utilizó para la conversión de las coordenadas geográficas a planas en El Salvador durante 10 años lo cual significó el periodo de transición hacia el nuevo sistema de referencia, aunado a ello todavía se utilizaba el elipsoide de Clark 1866 lo que volvía incompatible con los dispositivos modernos de geolocalización.

Siendo el resultado final de este periodo de transición, la creación del sistema LAMBERT SIRGAS-ES2007 en el año 2007 pero fue hasta el año 2016 que se hizo público modernizando las mediciones geodésicas, cartográficas del país.

A continuación, se presenta el cuadro comparativo, en los cuales podemos observar los parámetros que han sido utilizados para las conversiones de las

coordenadas planas en El Salvador durante los 10 años y el resultado final de este periodo de transición.

Proyección	Lambert NAD 27 Centro América	Lambert NAD27 3 Parámetros ES	Lambert SIRGAS-ES2007
Coordenadas de entrada	Latitud (ϕ) y longitud (λ) referidas a NAD27	Latitud (ϕ) y longitud (λ) referidas a NAD27	Latitud (ϕ) y longitud (λ) referidas a SIRGAS-ES2007/ ITRF/WGS84
Elipsoide Semieje mayor Semieje menor Achatamiento Excentricidad	Clark 1866 a = 6 378 206.4 m b = 6 356 583.8 m 1/f = 294.978 698 21390 e ² = 0.006 768 657 997 291	Clark 1866 a = 6 378 206.4 m b = 6 356 583.8 m 1/f = 294.978 698 21390 e ² = 0.006 768 657 997 291	GRS80/WGS-84/ITRF a = 6 378 137 m b = 6 356 752.314 14 m 1/f = 298.257 222 101 e ² = 0.006 694 380 0229
Parámetros de la proyección Falso Este Falso Norte Paralelo de origen Meridiano de origen 1. Paralelo estándar 2. Paralelo estándar Factor de escala en el meridiano origen:	500000.000 m 295809.184 m 13° 47' N (valor en NAD27) 89° 00' W (valor en NAD27) 13° 19' N (valor en NAD27) 14° 15' N (valor en NAD27) 0.99996704	500000.000 m 295809.184 m 13° 47' N (valor en NAD27) 89° 00' W (valor en NAD27) 13° 19' N (valor en NAD27) 14° 15' N (valor en NAD27) 0.99996704	500000.000 m 295809.184 m 13° 47' 03.477624" N (valor en SIRGAS) 88° 59' 59.938692" W (valor en SIRGAS) 13° 19' 03.477624" N (valor en SIRGAS) 14° 15' 03.477624" N (valor en SIRGAS) 0.99996704
DATUM	NAD 27 Centro América Tipo Molodensky; (bidimensional) Tx= 0 Ty= 125 Tz= 194	NAD 27 Tipo Molodensky: (bidimensional) Tx= 0 Ty= 105.5 Tz= 197.2	SIRGAS-ES2007 (WGS-84) Tipo Molodensky; (Tridimensional Geocéntrico) Tx= 0 Ty= 0 Tz= 0
Resultados	Coordenadas planas N y E referidas a NAD27 Centro América	Coordenadas planas N y E referidas a NAD27 3 Parámetros ES	Coordenadas planas N y E referidas a SIRGAS-ES2007.8

Tabla 0.6 Cónica Conforme Lambert

Fuente: es.wikipedia.org

**CAPÍTULO IV SISTEMA DE POSICIONAMIENTO
GLOBAL**

4.1 SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL

El Global Positioning System (GPS) o Sistema de Posicionamiento Global (más conocido con las siglas GPS, aunque su nombre correcto es NAVSTAR-GPS) es un Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS) el cual permite determinar en todo el mundo la posición de un objeto, una persona, un vehículo o una nave, con una precisión hasta de centímetros usando GPS diferencial, aunque lo habitual son unos pocos metros. Aunque su invención se le atribuye a los gobiernos franceses y belga, el sistema fue desarrollado e instalado, y actualmente es operado, por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos.²⁹

El GPS funciona mediante una red de 24 satélites (21 operativos y 3 de respaldo) en órbita sobre el globo a 20.200 km con trayectorias sincronizadas para cubrir toda la superficie de la tierra. Cuando se desea determinar la posición, el aparato que se utiliza para ello localiza automáticamente como mínimo cuatro satélites de la red, de los que recibe unas señales indicando la posición y el reloj de cada uno de ellos. Con base en estas señales, el aparato sincroniza el reloj del GPS y calcula el retraso de las señales, es decir, la distancia al satélite. Por

²⁹ De Occidente, E. Y. C. (s. f.-b). *ECO topografía. ECO topografía.*
<https://www.ecomexico.net/>

"triangulación" calcula la posición en que éste se encuentra. Conocidas las distancias, se determina fácilmente la propia posición relativa respecto a los tres satélites. Conociendo además las coordenadas o posición de cada uno de ellos por la señal que emiten, se obtiene la posición absoluta o coordenadas reales del punto de medición.

4.1.1 Antecedentes del GPS

Los orígenes del GPS se remontan a la Guerra Fría, cuando la Unión Soviética lanzó en 1957, el satélite Sputnik I con tecnología de Europa Occidental, anunciando el inicio de la carrera espacial. Lo que comenzó como un método para estudiar la Tierra desde el espacio rápidamente se convirtió en una tecnología universal utilizada por casi todos los países del mundo³⁰. Sputnik I, era monitorizado mediante la observación del Efecto Doppler de la señal que este transmitía, debido a este hecho, se comenzó a pensar que, de igual modo, la posición de un observador podría ser establecida mediante el estudio de la

³⁰ Ravikumar, A. (2022, 27 abril). Historia de los satélites GPS y el seguimiento por GPS para uso comercial. Geotab. <https://www.geotab.com/es/blog/historia-de-los-satelites-gps/#:~:text=Los%20or%C3%ADgenes%20del%20GPS%20se,comienzo%20de%20la%20carrera%20espacial.>

frecuencia Doppler de una señal transmitida por un satélite cuya órbita estuviera precisamente determinada.

La marina estadounidense rápidamente aplicó esta tecnología para proveer a los sistemas de navegación de sus flotas de observaciones de posición actualizadas y precisas. Así surgió el sistema TRANSIT, este sistema proporcionaba información basándose en el desplazamiento Doppler, información en dos dimensiones, latitud y longitud, que quedó operativo en 1964 y hacia 1967 estuvo disponible. Las actualizaciones de posición, en ese entonces, se encontraban disponibles cada 40 minutos y el observador debía permanecer casi estático para poder obtener información adecuada.

Posteriormente en esa misma década y gracias al desarrollo de los relojes atómicos, se diseñó una constelación de satélites, portando cada uno de ellos uno de estos relojes y estando todos sincronizados en base a una referencia de tiempo determinada.

En 1973, se combinaron los programas de la Marina de EE.UU. y el de la USAF (este último consistente en una técnica de transmisión codificada que proveía datos precisos usando una señal modulada con un código de sonidos pseudo-random (PRN = Pseudo-Random Noise), en lo que se conoció como Navigation Technology Program, posteriormente devenido en el NAVSTAR GPS.

Entre 1978 y 1985 se desarrollaron y lanzaron once satélites prototipos experimentales NAVSTAR, a los que siguieron otras generaciones de satélites, hasta completar la constelación actual, a la que se declaró con «capacidad operacional inicial» en diciembre de 1993 y con «capacidad operacional total» en abril de 1995.

Reservado exclusivamente para uso militar en sus inicios, pero esto cambio cuando un caza Su-15 soviético derribo al vuelo comercial KAL007 Korean Air fue derribado el 1 de septiembre cuando sobrevolaba por error en el territorio soviético restringido., y las fuerzas de defensa creyeron que se trataba de un avión espía estadounidense, 269 personas entre pasajeros y tripulación perdieron la vida, incluso el congresista estadounidense por Georgia Larry McDonald, siendo este uno de los más graves incidentes que se produjeron en la Guerra Fría. La Unión Soviética suprimió activamente su información del accidente por diez años (incluso utilizó su poder de veto en el Consejo de Seguridad de Naciones Unidas bloqueando una resolución condenatoria), y el 16 de septiembre, el presidente Ronald Reagan anunció que el GPS sería de libre acceso para todos, sin cargo alguno, estimulando así su desarrollo tecnológico.

Hasta el día de hoy, los hechos precisos del vuelo se desconocen, debido a los numerosos aspectos militares y de inteligencia internacionales que se entrecruzan.

El GPS está ahora disponible para todo el mundo, y lo ha estado durante bastante tiempo. Debido a su uso generalizado, la tecnología GPS está ahora plenamente integrada en nuestra vida diaria. Utilizado en nuestros vehículos para conducir a través del tráfico o en el móvil para ofrecer resultados de búsqueda web más precisos y personalizados.

Los nuevos sistemas de navegación serán esenciales para las empresas y los servicios gubernamentales de todo el mundo. Hoy en día, el Sistema mundial de navegación por satélite (GNSS) engloba los sistemas GPS, GLONASS de Rusia, Galileo de la Unión Europea y Beidou de China, y cada vez hay más países desarrollando también sus propias soluciones de navegación GPS.

4.1.2 Segmentos del GPS

- Segmento Espacial: El Espacio.

El sector espacial GPS debe constar, con arreglo a la planificación de hoy en su fase final de montaje, de 21 o 24 satélites, respectivamente. El mínimo definitivo de satélites depende en última instancia de la financiación. Se acaba

ahora precisamente de aprobar la llamada “Constelación Optima1 21 de Satélites”, y la meta final será, como siempre, el ir al establecimiento definitivo de 24 satélites. Los cuatro satélites se convertirán en seis diferentes, que giran alrededor de la Tierra en doce horas, describiendo órbitas con inclinación de 550 respecto al ecuador a 20.000 Km de altura³¹.

Esta constelación de satélites garantiza que en cada lugar de la Tierra y en cada momento estén “visibles” al menos cuatro satélites, es decir, que simultáneamente puedan recibirse. Entre 1978 y 1985 se pusieron en órbita II satélites del llamado grupo Block I (satélites de prototipo I), de los que hoy aún siguen funcionando seis. La culminación del montaje del sistema con satélites de serie debió darse originariamente por concluida hasta 1991. La tragedia SHUTTLE trajo consigo, sin embargo, que las planificaciones en tiempo cayeran de sobremanera en un gran desorden.

Entre 1986 y 1988 no pudieron de ningún modo ponerse en órbita ninguno de los satélites. En el 1989 se lanzaron, pues, finalmente con éxito, al espacio cinco satélites de los llamados satélites del Block II (satélites de serie) con

³¹ GPS.gov: Space Segment. (s. f.). <https://www.gps.gov/systems/gps/space/>

cohetes DELTA. Otra planificación prevé que al menos otros cinco satélites del Block II se pondrán en órbita por año, con lo que así desde la perspectiva de hoy se logrará alcanzar para 1993 el montaje completo del sistema con satélites del Block II.

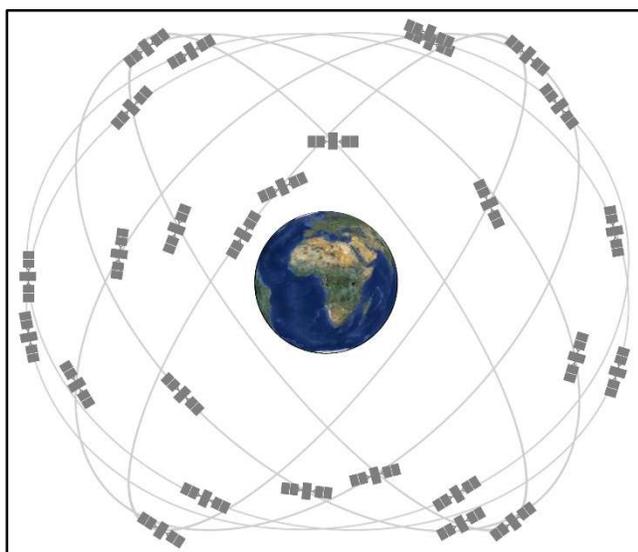


Figura 0.1 Sector Espacial GPS, en su probable fase final, con el establecimiento de 24 satélites.

Fuente: cybertesis.uach.cl

- Segmento Control: Estaciones de seguimiento en tierra de los satélites.

El sector de control del GPS consta de una estación principal de control, cinco estaciones de monitores y tres antenas de tierra. La estación principal de control se encuentra en la base aérea Falcon en Colorado Springs, EE. UU³².

Las estaciones de monitores se distribuyen alrededor del globo terráqueo como siguen:

- Colorado Springs, EE.UU.
- Ascensión (Océano Atlántico).
Diego García (Océano Indico).
- Kwajalein (Océano Pacífico).
- Hawái (Océano Pacífico).

Las antenas de tierra se encuentran en los siguientes puntos:

- Ascensión (Océano Atlántico).
- Diego García (Océano Indico).
- Kwajalein (Océano Pacífico).

³² GPS.gov: Control Segment. (s. f.). <https://www.gps.gov/systems/gps/control/>

GPS Control Segment

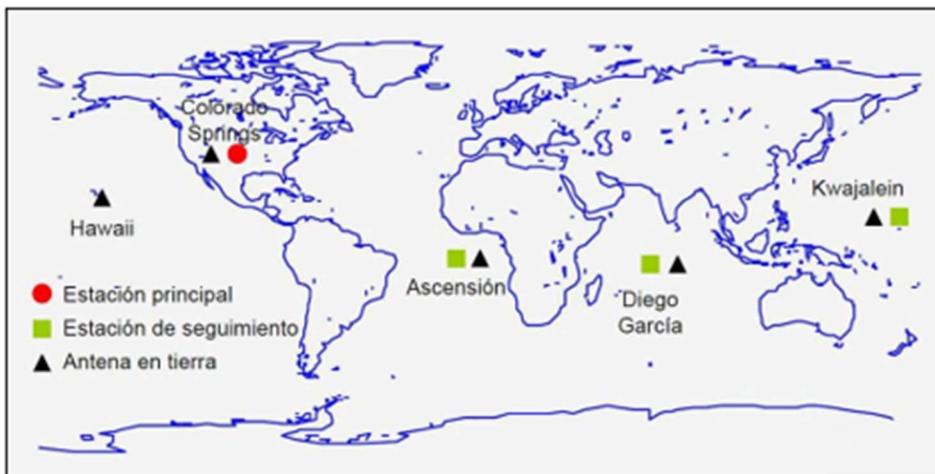


Figura 0.2 Estaciones de control.

Fuente: www.usan.bo

GPS Control Segment

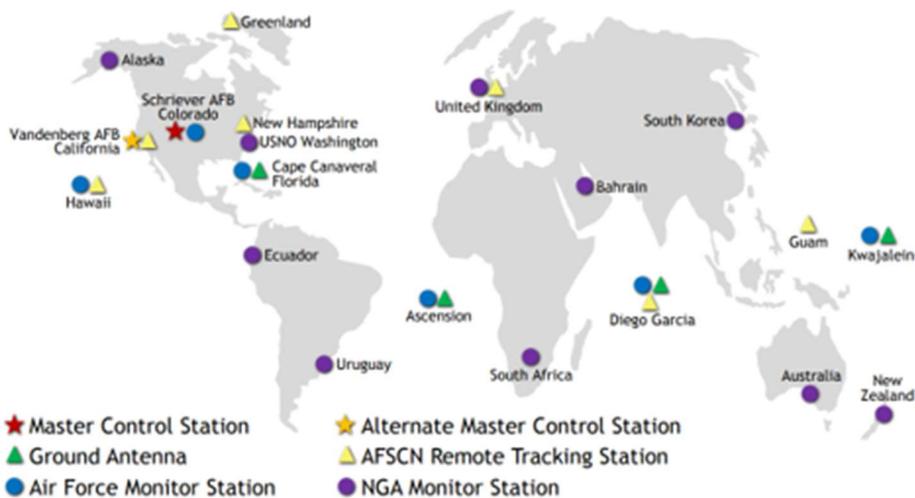


Figura 0.3 Estaciones de Control actualizado.

Fuente: www.gps.gov/systems/gps/control/

La estación maestra de control es la central de procesamiento del GPS y está funcionando las 24 horas al día, los 7 días de la semana. Sus funciones son seguimiento, monitorización y manejo de la constelación de satélites GPS, además de actualizar el mensaje de navegación.

Las estaciones monitoras son unos receptores radios muy precisos localizadas en posiciones determinadas con mucha precisión. Su función es el seguimiento pasivo de los satélites GPS que tiene a la vista, más de 11 simultáneamente, y obtiene la información necesaria para calcular con gran precisión sus respectivas órbitas. Las estaciones monitoras hacen un pequeño procesamiento de datos, o, mejor dicho, envían a la estación maestra de control sus medidas y observaciones de mensajes de navegación. La información la procesa la MCS para estimar y predecir las efemérides y parámetros de reloj de los satélites. Efemérides se refiere a los parámetros de localización y órbita exactos de un satélite, es decir, sus datos de seguimiento.

Con esto se puede calcular la posición de un satélite con un error menor de 1 m. en sentido radial, 7 m en la de la trayectoria y 3 m en la dirección perpendicular a la misma. Utilizando esta información, la estación maestra envía periódicamente a cada satélite efemérides y datos de reloj actualizados en los mensajes de navegación.

- Segmento Usuario: los receptores individuales.

El segmento de usuario es el consumidor final del GPS, se compone de una multitud de receptores/procesadores civiles y militares específicamente diseñados para recibir o sintonizar la señal emitida por los satélites, para diferentes fines como la navegación espacial, aérea, marítima, vehículos terrestres, topografía, cronología, también para calcular las soluciones de navegación (posición, altitud, velocidad y tiempo)³³.

Desde el punto de vista técnico, los receptores GPS se dividen en tres grupos principales:

- Receptores secuenciales: reciben las señales de los cuatro satélites necesarios uno tras otro por uno o dos canales Hardware. Su precisión sólo será suficiente entonces cuando el usuario bien no se mueve en absoluto, o bien se mueve sólo con relativa escasa dinámica. Por lo tanto, los receptores secuenciales monocanal sólo son aptos para usos estacionarios, o para usuarios con una dinámica muy escasa (peatones, vehículos terrestres). Los receptores secuenciales de dos canales se han

³³ GPS.gov: Aplicaciones. (s. f.). <https://www.gps.gov/applications/spanish.php>

previsto principalmente para usuarios con una dinámica de un grado medio (helicópteros, buques).

- Receptores multiplex: reciben las señales de satélite necesarios a través de un canal Hardware, que se conmuta a gran velocidad entre cada uno de los satélites en particular.
- Receptores paralelos: reciben simultáneamente las señales de los cuatro satélites necesarios como mínimo a través de cuatro canales Hardware. Estos receptores se presentan como el receptor del GPS del tipo mayor rendimiento y mayor eficacia, y son especialmente idóneos para los aviones de combate, submarinos y aquellos usuarios que requieran una alta resistencia a las interferencias.

El GPS fue diseñado para dos niveles de usuarios, los que usan el Servicio de Posicionamiento Estándar /Standard Positioning Service (SPS) y los que utilizan el Servicio de Posicionamiento Preciso /Precise Positioning Service (PPS). En generales:

- El PPS está reservado para uso militar: ofrece al usuario autorizado la plena exactitud y precisión de navegación y la alta resistencia a las interferencias.

- El SPS para otros usos: pone a disposición del usuario no autorizado una reducida exactitud de navegación y una mínima resistencia a las interferencias.

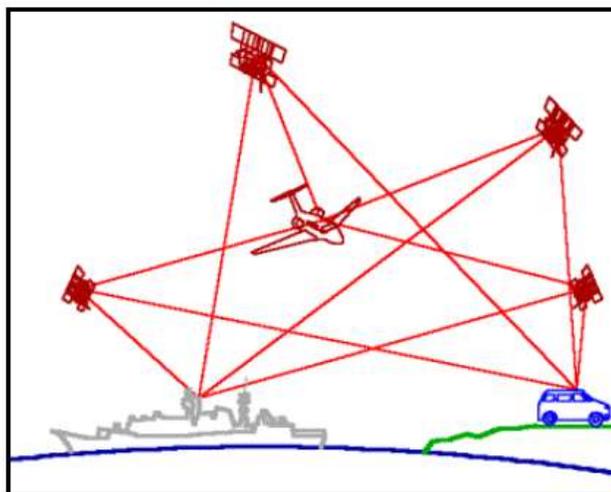


Figura 0.4 División Usuario.

Fuente: cybertesis.uach.cl

Los receptores GPS son los que predominan actualmente, y existen del tipo portátiles (de mano), para montaje en vehículos (aviones, yates, automóviles, etc.), e integrados dentro de otros equipos (cámaras fotográficas, unidades de referencia de tiempo, teléfonos celulares, etc.).

Debido al gran potencial para aplicaciones especializadas y variadas, el equipamiento de usuario puede variar significativamente en su diseño y función.

Algunas aplicaciones generales del GPS son:

- Navegación.
- Posicionamiento.
- Transferencia de tiempo.
- Geodesia.

Principio de funcionamiento

Los satélites del GPS trabajan en ambas bandas de frecuencias portadoras de $L1 = 1.575,42 \text{ MHz}$ y $L2 = 1.227,6 \text{ MHz}$. La Segunda frecuencia sirve para la corrección de errores, que entran o se originen por la influencia de la ionosfera. $L1$, está modulada con el llamado Code C/A (Coarse or Clear-Adquisition Code) y con el llamado Code P (precisión Code). $L2$ está solamente modulada con el Code P. A estos dos Codes se les mezclan los datos de navegación que contienen los datos de efemérides de satélites y los datos horarios de estos. Los satélites vienen equipados con relojes atómicos de alta precisión³⁴.

³⁴ Del Espía, E. B. (2019, 4 enero). Frecuencias también en los GPS | El blog del espía. El blog del espía. <https://blog.latiendadeldetectiveydelespia.com/frecuencias-tambien-en-los-gps/>

Las estaciones de monitores siguen a todos los satélites que se encuentran visibles en su zona, fijan las distancias a los satélites y registran los datos horarios de estos. Estas informaciones se van transmitiendo desde cada una de las estaciones monitores, en particular a la estación principal de control, donde los datos futuros de efemérides y los errores horarios se computarán anticipadamente.

Estas informaciones se transmiten por las antenas de tierra a los satélites, que por su lado dentro del marco de los datos de navegación las pondrán entonces de nuevo a disposición de cada uno de los usuarios en particular. En el equipo de usuario se fija y determina la posición del usuario mediante las mediciones en tiempo de recorrido único a tres satélites. Los equipos de usuarios por motivos de costos están equipados, al contrario que los satélites, sólo con relojes de cuarzo de relativa imprecisión.

Por lo tanto, se empleará otro satélite para la compensación de los errores horarios internos que pudiera tener el equipo. Las posiciones de los satélites son conocidas en todo momento a través de los datos de efemérides comunicados.

La determinación de la velocidad se realiza por el cálculo analítico del desplazamiento Doppler de las señales de satélite recibidas.

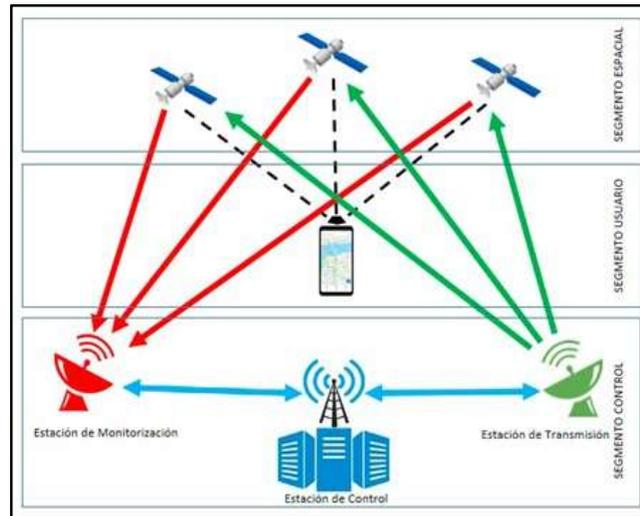


Figura 0.5 Segmento GPS.

Fuente: <https://www.atleuropa.es/el-sistema-gps/>

4.1.3 Equipos Geodésicos.

- **Receptores de Navegación:** Son receptores usualmente de tamaño pequeño y portátiles, debe de tenerse en cuenta que estos equipos no son aptos para el uso de las técnicas GPS diferenciales, solamente para navegación, precisión: 3 a 10 metros, almacenan en su memoria los datos observados denominados Waypoint.
- **Equipo de una frecuencia:** La característica mono frecuencia implica que el receptor recibe la onda portadora L1. Los equipos modernos además reciben la señal de las constelaciones: GLONASS (Satélites Rusos), GALILEO (Satélites Europeos), y BEIDOU (Satélites Chinos) Llegan a

precisiones submétricas en distancias de 5 - 10 km entre los dos receptores.

- Equipo de doble frecuencia: Los receptores geodésicos de doble frecuencia, reciben la onda portadora (L1-L2 y L5). Los equipos modernos además reciben la señal de las constelaciones: GLONASS (Satélites Rusos), GALILEO (Satélites Europeos), y BEIDOU (Satélites Chinos) permiten precisiones sub centimétricas para líneas base mayores de 10 km.



Figura 0.6 Equipos Geodésicos.

Fuente: imágenes de Google.

4.1.4 Fuentes de errores en las mediciones geodésicas.

Algunos de los errores frecuentes en las mediciones geodésicas son³⁵:

- Inestabilidad del reloj del satélite.
- Propagación anormal de la señal (velocidad de propagación no es constante). También recibe el nombre de retraso ionosférico y atmosférico.
- Efecto “multipath” o “multisenda”, que se produce cuando las señales no van directamente del satélite al receptor, sino que se desvían y sufren varios rebotes antes de alcanzar su objetivo.
- GDOP (Geometric Dilution Of Precision): depende de la geometría de los satélites en el momento del cálculo de la posición. No es lo mismo que los 4 satélites estén muy separados (mejor precisión), que los satélites estén más próximos (menor precisión).

³⁵ *FUNDAMENTOS DEL GPS Y APLICACIONES CON NAVEGADORES. (2013).*
<https://www.eweb.unex.es>. Recuperado 9 de enero de 2023, de
<https://www.eweb.unex.es/eweb/exgrafica/Tema14.pdf>

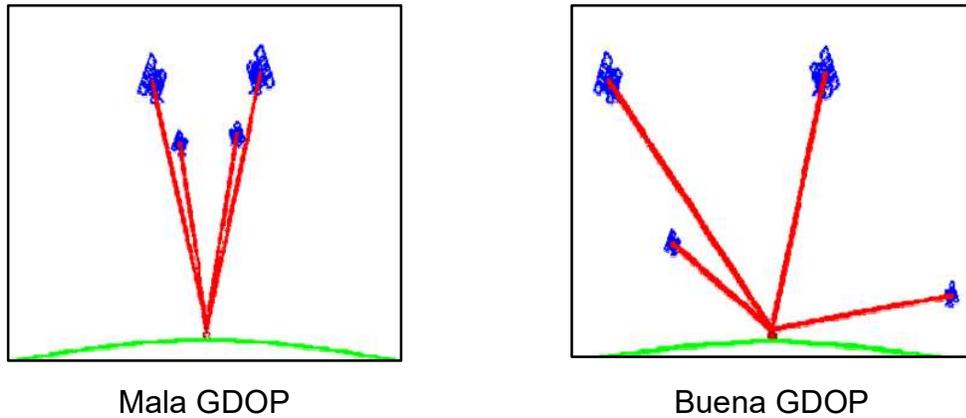


Figura 0.7 Errores Geodésicos

Fuente: www.eweb.unex.es

- Retraso de la señal en la ionosfera y troposfera.
- Señal Multitrayectoria, producida por el rebote de la señal en edificios y montañas cercanas.
- Errores orbitales, donde los datos de la órbita del satélite no son completamente precisos.
- Geometría de los satélites visibles.

**CAPÍTULO V SERVICIOS DE POSICIONAMIENTO EN
LÍNEA**

5.1 SERVICIOS DE POSICIONAMIENTO EN LÍNEA

5.1.1 Fundamentos

El servicio de posicionamiento en línea se ha convertido en una cuestión fundamental para nuestro día a día. Actualmente es muy difícil concebir nuestra vida sin posicionamiento, generalmente mediante GNSS³⁶ y GPS³⁷.

La mayoría de la población conoce el mundo GNSS o bien GPS a nivel de usuario y el concepto de posicionamiento GNSS absoluto y relativo les es ajeno, incluso aunque utilicen a diario el posicionamiento absoluto para ubicarse o para llegar a cualquier lugar con el navegador de su teléfono móvil.

Se trata de explicar de manera sencilla la diferencia entre el posicionamiento absoluto (utilizado comúnmente por los usuarios en general) y el posicionamiento relativo, utilizado para usos profesionales de posicionamiento. Además, se desarrollan los algoritmos de simple, dobles y triples diferencias, utilizados en el posicionamiento relativo.

Los servicios en línea son servicios prestados a través de Internet. En el caso de los servicios de posicionamiento, el servicio prestado es el de procesamiento de datos GNSS recolectados por el usuario y, como resultado, se

³⁶ *Global Navigation Satellite System*

³⁷ *Sistema de Posicionamiento Global*

devuelve un conjunto de coordenadas calculadas a partir de dichos datos. Si bien cada servicio tiene sus particularidades, todos funcionan fundamentalmente de la misma manera (ver figura 5.1) reciben archivos (RINEX³⁸) de observaciones GNSS recolectadas en campo (más unos pocos parámetros de configuración para el procesamiento) y devuelven coordenadas ITRF2014 (ITRF14) para la misma época de dichas observaciones, cual es el Marco de Referencia de los satélites. Por supuesto que cada servicio ofrece otros MR, en especial los oficiales de cada país de origen.

³⁸ *Receiver INdependent Exchange, Formato de intercambio de datos del sistema global de navegación por satélite*

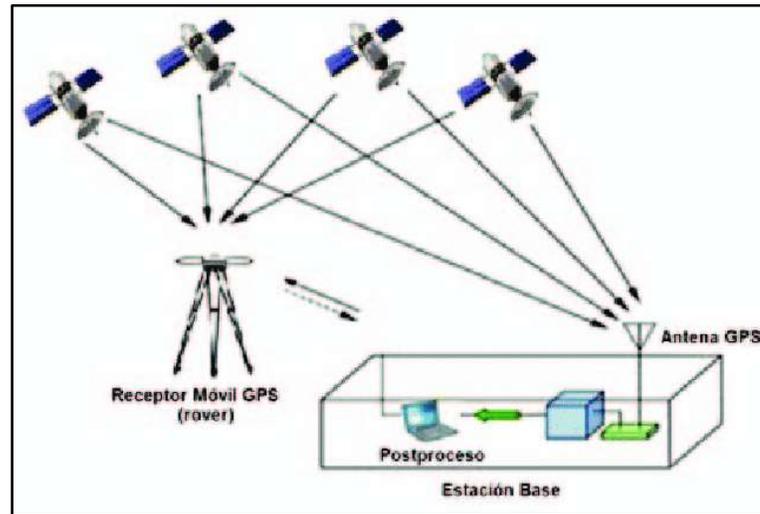


Figura 0.1 Funcionamiento básico de servicios de posicionamiento en línea.

Fuente: Documento de Análisis e implementación de diferencial GPS en configuración simple y doble.

5.1.2 Tipos de servicios

Los servicios en línea son servicios prestados por aplicaciones web a través de Internet. En particular, hay dos tipos de servicios de posicionamiento en línea, ambos son de postproceso, es decir, están disponibles para su utilización luego de la recolección de observaciones GNSS.

5.2 Posicionamiento diferencial o relativo

El posicionamiento diferencial o relativo, involucra las observaciones en simultaneo de dos o más receptores a los mismos satélites, a las que utiliza para

eliminar las influencias de las fuentes de error a través de la doble (o triple) diferencia entre observaciones, y luego calcular la posición de uno de los receptores en relación con los restantes. Este método permite obtener grandes precisiones, puesto que anula o elimina la mayoría de los errores sistemáticos, así como los introducidos durante la propagación de la señal a través de la ionosfera y la troposfera, las imprecisiones en las efemérides de las órbitas y los relojes satelitales y da solución a una red estática para obtener las precisiones que habitualmente se requieren.

El servicio prestado en este caso es el de la infraestructura de red de estaciones permanentes o (CORS³⁹), con lo cual, el usuario puede obtener las coordenadas de un punto relevado (en modo estático) con un solo receptor (doble frecuencia), en relación con la infraestructura de estaciones monitoreada por cada servicio. (Ver figura 5.2)

³⁹ *Continuous Operating Reference Stations*

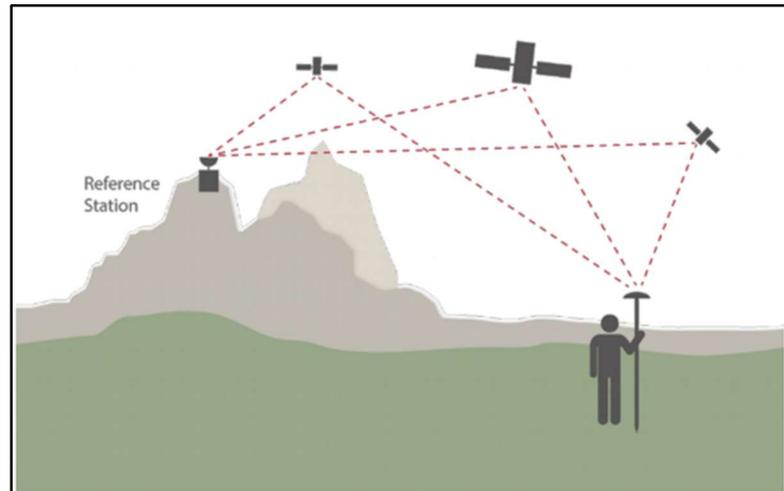


Figura 0.2 Método de Posicionamiento Diferencial o Relativo.

Fuente: Aplicación web para Georreferenciación utilizando y su aplicación en la Agrimensura (Pistarini, nov. 2016)

5.3 Posicionamiento puntual preciso (PPP)

El otro es de tipo absoluto y es el llamado posicionamiento puntual preciso (PPP), es decir, involucra observaciones de un solo receptor, a las que debe aplicar modelos precisos de corrección para todos los fenómenos físicos que las afectan, que se pueden agrupar en efectos satelitales y efectos de desplazamiento local. Por último, se obtiene la posición absoluta del receptor. (ver figura 5.3)

Los modelos de corrección aplicados se agrupan por la causa que origina los desplazamientos. Entre ellos tenemos:

- Efectos del satélite:
 - Desplazamientos de la antena y
 - fin de fase de la portadora.
- Efectos del desplazamiento local:
 - Mareas terrestres, producto de fuerzas gravitacionales;
 - Mareas polares, que produce deformación de la rotación debido al movimiento polar;
 - Carga oceánica y parámetros de rotación terrestre.
- Compatibilidad y convenciones IGS, se refiere a la falta del estricto cumplimiento de las convenciones IERS de algunos modelos de corrección y a la pérdida de precisión en las distintas transformaciones y/o cálculos intermedios.

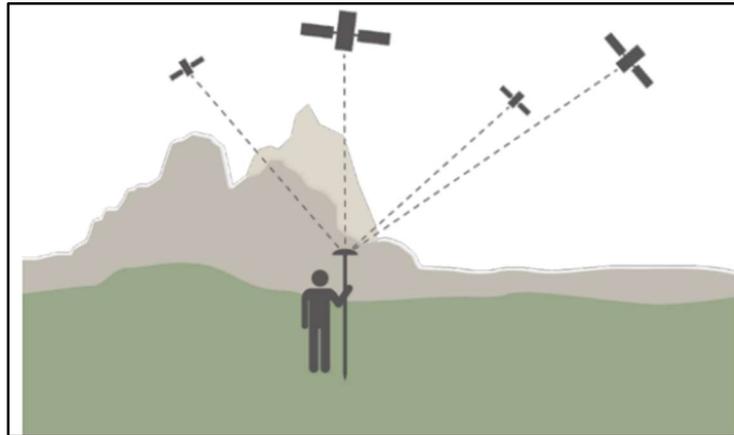


Figura 0.3 : Método de Posicionamiento Puntual Preciso.

Fuente: Aplicación web para Georreferenciación utilizando y su aplicación en la Agrimensura (Pestarini, nov. 2016)

5.4 Aprovechamiento de los servicios de posicionamiento en línea

La precisión y exactitud es uno de los aspectos más importantes dentro de la Topografía y Geodesia, conforme el tiempo se han ido desarrollando muchas técnicas que mejoran significativamente dichos aspectos, y la utilización de la tecnología no se ha dejado atrás para la creación de software que proceden con mejor calidad los datos obtenidos de levantamientos geodésicos, en este caso hablaremos de los servicios de posicionamiento en línea que consisten en sitios de internet, los cuales están diseñados para recibir forma gratuita del sector público y privado, el usuario puede proporcionar un archivo de datos recopilado por un receptor de señales del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) y

obtener una posición NSRS (Sistema de Referencia Espacial), calculadas a partir de los datos cargados.

Para usar estos servicios se requieren únicamente de un navegador con conexión a internet, ya que son independientes del sistema operativo y del dispositivo del que se ejecuta, estos han demostrado ser de fácil acceso y manejo para cualquier usuario, algunos de ellos son: IBGE, NOAA (OPUS), AUSPOS, GYPSI OASIS, CSRS-PPP, entre otros.

5.5 Estaciones de referencia de operación continua (CORS)

CORS (Continuously Operating Reference Stations o Estaciones de Referencia de Operación Continua) es un sistema de referencia y corrección conformado por antenas fijas para proporcionar datos de corrección (estático y RTK en tiempo real) a sistemas GNSS (GPS) de doble frecuencia o para equipos GIS que tengan la ranura para tarjeta SIM. Es el siguiente paso en la evolución del GPS al no tener que depender de una antena base y un radio para el posicionamiento de un punto en tiempo real y con precisión milimétrica.

La Red de Estaciones de Referencia de Operación Continua (CORS) (NCN) de la NOAA, administrada por la NOAA/National Geodetic Survey, proporciona datos del Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS),

apoyando el posicionamiento tridimensional, la meteorología, el clima espacial y las aplicaciones geofísicas⁴⁰.

Topógrafos, usuarios de GIS, ingenieros, científicos y otras personas que recopilan datos GPS/GNSS pueden usar datos NCN, adquiridos en estaciones de control geodésico fiduciario, para mejorar la precisión de sus posiciones y alinear su trabajo dentro del Sistema Nacional de Referencia Espacial (NSRS). Las precisiones de coordenadas post-procesadas mejoradas de NCN pueden acercarse a unos pocos centímetros, tanto horizontal como verticalmente.

La red CORS es un esfuerzo cooperativo de múltiples propósitos y múltiples agencias, que combina los esfuerzos de cientos de organizaciones gubernamentales, académicas y privadas. Las estaciones son de propiedad y operación independientes. Cada agencia comparte sus medidas de rango de código y fase de portadora GNSS/GPS y metadatos de estación con NGS, que se analizan y distribuyen de forma gratuita.

Tipos de sistemas CORS:

- American Continuously Operating System (CORS)

⁴⁰ NOAA CORS Network - National Geodetic Survey. (s. f.).

<https://geodesy.noaa.gov/CORS/>

- Canadian Active Control System (CACS)
- Sydney Network RTK System (SydNet)
- German Satellite Positioning and Navigation System (SAPOS)
- Switzerland Continuously Operating System (SCORS)

Como funcionan:

Una estación CORS, está conformada por una o varias antenas fijas, las cuales se instalan en lugares estratégicos, un receptor para obtener, procesar y enviar datos de corrección en diferentes formatos y protocolos a un sistema informático capaz de recopilar datos, almacenar y enviar información al usuario a diferentes medios: datos estáticos en formato Rinex que se pueden descargar de un servidor FTP para realizar post-proceso o datos de corrección en tiempo real en diferentes protocolos para ser enviados por Internet a través de la red de telefonía celular a múltiples usuarios a la vez para diferentes aplicaciones (topografía, GIS, científicos, etc.)⁴¹.

⁴¹ Nosotros. (s. f.). *alfatopografia*. <https://www.alfatopografia.com/cors>

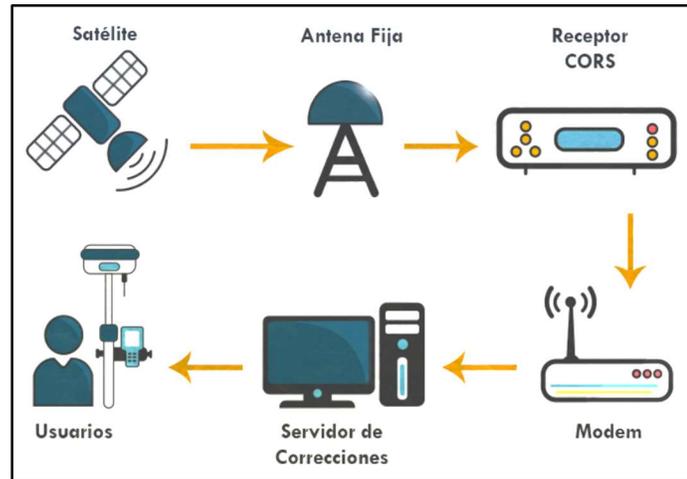


Figura 0.4 Como funcionan la CORS.

Fuente: toposervis.com | cómo funcionan la red de estaciones de referencia CORS.

Ventajas y desventajas:

Modo	Ventajas	Desventajas
Modo UHF (Radio)	<p>Todas las características del método RTK tradicional.</p> <p>Comparado con otros métodos topográficos convencionales, el uso del GPS es un gran salto en la historia de la topografía.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere de la antena base del radio. • Se ve afectado por el terreno: lagos, montañas, etc. • Es fácil perder la señal de radio y puede tener interferencias de otros radios.
Modo GSM/GPRS celular	<ul style="list-style-type: none"> • Mayores distancias (hasta 70km de antena CORS). • Más portátil • Menor costo del equipo • No se requiere instalar una base de referencia. 	<p>Si no hay señal de celular en la zona de trabajo, no se puede recibir señal de corrección (aunque se puede utilizar el modo de radio).</p> <p>Tiene un costo adicional la conexión a la red celular y a la antena CORS.</p>

	<ul style="list-style-type: none"> • Amplia área de cobertura con la misma precisión. 	
--	------------------------------------------------------------------------------------------------------	--

Tabla 0.1 Ventajas y desventajas de las CORS.

Fuente: alfatopografia.com | cors

5.5.1 Antecedentes de las estaciones CORS

Red CORS de la Fundación NOAA

La Red NOAA CORS (NCN) es una red cooperativa multipropósito de estaciones GNSS de más de 200 organizaciones gubernamentales, académicas y privadas. Su objetivo principal es permitir a los usuarios de GNSS proporcionar un posicionamiento preciso en relación con el Sistema Nacional de Referencia Espacial (NSRS) de EE. UU. Las consideraciones de densidad y la naturaleza de las estaciones de propiedad de los socios limitaron la cantidad de estaciones de

NCN que contribuyeron a la determinación de las versiones 2014 y anteriores del Marco de Referencia Terrestre Internacional (ITRF)⁴².

Para mantener la coherencia a largo plazo entre la NSRS y la ITRF, se debe operar un conjunto específico de estaciones con los más altos estándares y de propiedad federal para garantizar la longevidad. NGS ha identificado un conjunto de 36 estaciones en los EE. UU. y sus territorios que cumplen con este criterio y brindan acceso nacional constante al NSRS. Esta sub red de la NCN se conocerá como la Red CORS de la Fundación NOAA, o NFCN.

El Estudio Geodésico Nacional de la NOAA define y administra el Sistema Nacional de Referencia Espacial (NSRS), es un sistema de coordenadas coherente que define la latitud, la longitud, la altura, la escala, la gravedad y la orientación en todo Estados Unidos. Además de una red de estaciones de referencia de funcionamiento continuo (CORS) que admiten actividades de posicionamiento tridimensional, el NSRS incluye una red de puntos marcados permanentemente; una costa nacional consistente, precisa y actualizada; y un

⁴² *Foundation CORS | CORS Data Products | CORS | National Geodetic Survey. (s. f.).*

<https://geodesy.noaa.gov/CORS/foundation-cors.shtml>

conjunto de modelos precisos que describen procesos geofísicos dinámicos que afectan las mediciones espaciales.

El Servicio Geodésico Nacional (NGS) de la NOAA define y mantiene el NSRS. El NSRS incluye una red de puntos permanentemente marcados; una costa nacional consistente, precisa y actualizada; una red de Estaciones de Referencia de Operación Continua (CORS) que soporta actividades de posicionamiento tridimensional; y un conjunto de modelos precisos que describen procesos geofísicos dinámicos que afectan las mediciones espaciales.

Durante más de 200 años, NGS y sus agencias predecesoras han colaborado con topógrafos de los sectores público y privado para colocar cientos de miles de marcas topográficas en todo Estados Unidos, determinando la información de posición de cada marca. Cada marca topográfica se publica con información horizontal y/o vertical precisa, como latitud, longitud y/o altura. Por lo general, una marca es un disco de latón, bronce o aluminio, pero también puede ser una varilla profundamente clavada o un objeto prominente como una torre de agua o una torre de iglesia. Cada vez más, los receptores del sistema de posicionamiento global de funcionamiento continuo de las estaciones CORS también se utilizan como estaciones de referencia.

Esta colección de puntos (más de 1.500.000 de ellos) forma una red que se utiliza para posicionar con precisión otros puntos de interés. Los topógrafos y otros utilizan el NSRS en todo el país para asegurarse de que sus coordenadas de posición sean compatibles con las determinadas por otros. De esta manera, cuando crean mapas; marcar los límites de la propiedad; y planificar, diseñar y construir carreteras, puentes y otras estructuras.

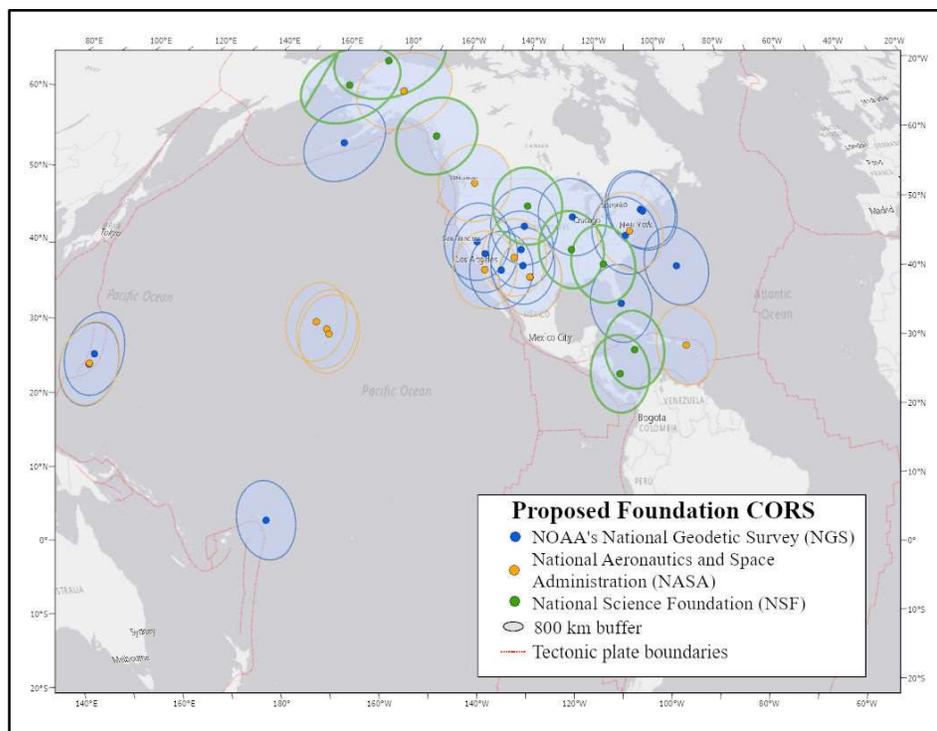


Figura 0.5 Propuesta de estaciones CORS.

Fuente: geodesy.noaa.gov/CORS/foundation-cors.shtml



Figura 0.6 Red CORS en la actualidad.

Fuente: oceanservice.noaa.gov

Objetivos operativos de la NFCN⁴³

1. Acuerdos formales firmados con socios para el apoyo al proyecto.
2. Todos los CORS de la Fundación propiedad de NGS se envían para su inclusión en la red del Servicio GNSS internacional (IGS).
3. Tiempo operativo objetivo:
 - Disponibilidad de red > 90 % en todo momento.
 - Tiempo de inactividad de la estación individual < 14 días

⁴³ Foundation CORS | CORS Data Products | CORS | National Geodetic Survey. (s. f.-b). <https://geodesy.noaa.gov/CORS/foundation-cors.shtml>

4. Las estaciones brindan soporte de definición para los modelos de rotación de placa y ITRF.
5. Los estudios del sitio realizados según los estándares del Servicio Internacional de Rotación de la Tierra y Sistemas de Referencia (IERS), se repiten en un ciclo de 5 años en cada Fundación CORS.
6. Los CORS de la Fundación no estarán separados por más de 800 km.

5.5.2 Especificaciones mínimas para su establecimiento⁴⁴

- La estación debe ubicarse sobre un material estable, evitando zonas vulnerables a deslizamientos, hundimientos, variaciones verticales por agua subterránea u otras fuentes de deformación.
- El horizonte entorno a la estación debe estar libre de obstáculos sobre un ángulo de elevación entre 0 y 5 grados.
- La presencia de obstáculos debe ser mínima.
- El lugar seleccionado para la estación no debe verse afectado por cambios futuros en su entorno, por ejemplo: construcción de edificios, adiciones en tejados, mástiles para antenas, etc.

⁴⁴ *Guidelines for Establishing and Operating CORS - National Geodetic Survey. (s. f.).*

https://geodesy.noaa.gov/CORS/Establish_Operate_CORS.shtml

- El lugar seleccionado para la estación debe estar libre, de la mejor manera posible, de radio interferencias y de superficies reflectivas u otras fuentes de señal reflejada.
- La ubicación de la estación no debe verse afectada por vibraciones excesivas, ya sean naturales o causadas por el hombre, como por ejemplo mareas oceánicas o tráfico vehicular pesado.
- El receptor rastrea al menos diez satélites por encima de 0 grados.
- La antena y el monumento deben ser nivelados.
- Longitud del cable de conexión antena/receptor, no exceda un máximo 30 metros.
- Los datos están disponibles gratuitamente para su distribución.
- Los datos se registran en un intervalo de 30 segundos o menos.
- Tener acceso a Internet en el sitio.

5.5.3 Protocolos de comunicación en línea

Las CORS (Estaciones de Referencia de Observación Continua), utilizan los GNSS (Sistemas Satelitales de Posicionamiento Global), para determinar con alta precisión una posición, mediante la observación de los satélites de las constelaciones disponibles (GPS, GLONNAS, próximamente Galileo y Compass/BeiDou).

Empleando la técnica llamada de Corrección Diferencial, es posible eliminar casi totalmente la influencia de los errores inducidos voluntariamente o producidos por la señal GNSS. El método DGNSS, tanto en modo Post Proceso como en Tiempo Real, son las modalidades más utilizadas. Actualmente están disponibles también soluciones PPP (Precise Point Positioning - Posicionamiento Puntual Preciso), a partir de desarrollos generados en varias agencias de investigación.

Últimamente se han presentado ciertos avances sobre PPP (Posicionamiento de Punto Preciso), particularmente en tiempo real: PPP-RTK. Las Correcciones Diferenciales pueden ser obtenidas directamente a partir de un receptor GNSS, de una CORS o de una red CORS, conectadas a un Servidor-Cáster a través de Internet. El cliente o usuario móvil utilizando tecnología de telefonía móvil (GSM, GPRS, EDGE, UMTS) y un programa Cliente, puede acceder a la dirección IP del Cáster, a través de protocolo Ntrip (Red de Transporte de datos en formato RTCM a través Protocolo de Internet), a fin de obtener los datos de corrección diferencial para el receptor GNSS que está utilizando.

Ntrip se basa en HTTP (HyperText Transfer Protocol - Protocolo de Transferencia de Hipertexto), siendo capaz de transmitir cualquier tipo de datos

GNSS a través de mensajes RTCM (Radio Technical Comisión for Maritime Services) o datos en formato propietario (raw data)⁴⁵.

5.5.4 Estaciones CORS en el mundo

Tomando en cuenta todos los dispositivos de navegación por satélite que se encuentran en el mundo no podríamos dar una cantidad exacta de las que lo tienen en uso, pero si sabemos que existen innumerables dispositivos incluyendo receptores mediante procesamiento ulterior, permiten la obtención de mediciones atmosféricas y de posicionamiento altamente precisas.

El sistema de GPS diferencial global (GDGPS) es un sistema de aumento y monitoreo GNSS en tiempo real completo, altamente preciso y extremadamente robusto.

Empleando una gran red terrestre de receptores de referencia en tiempo real, una arquitectura de red innovadora y un software de procesamiento de datos en tiempo real, el sistema GDGPS proporciona precisión de posicionamiento subdecimétrica y precisión de transferencia de tiempo subnanosegundo en cualquier parte del mundo, en la tierra, en el aire y en el espacio, independientemente de la infraestructura local.

⁴⁵ Silva, N. S. (2013). Red de transporte de datos en formato RTCM, vía protocolo de Internet (Ntrip). Implementación en la región y proyección futura a través de SIRGAS. Dialnet. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8516752>

Una gama completa de información de estado GNSS en tiempo real, datos ambientales y productos auxiliares están disponibles para respaldar las operaciones de aumento de GNSS, los servicios de GNSS asistido (A-GNSS), la evaluación de la situación y el monitoreo ambiental, de manera global, uniforme, precisa y seguramente.

GDGPS ha estado brindando servicios de datos de posición, navegación y temporización de alta confiabilidad a operaciones industriales y gubernamentales desde el año 2000⁴⁶.

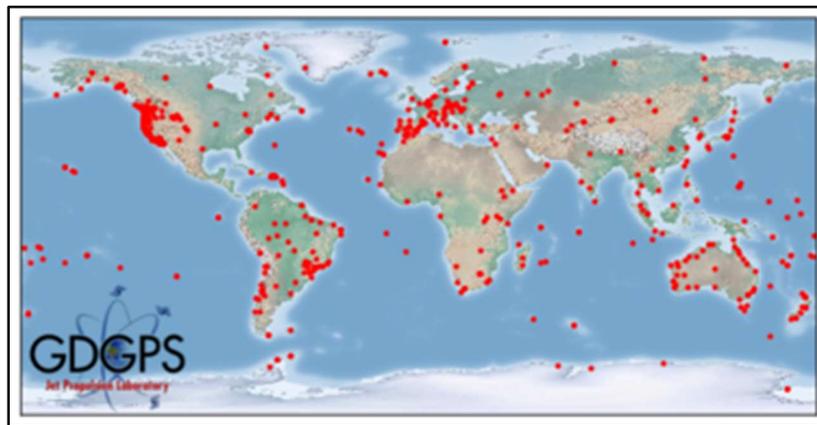


Figura 0.7 Estaciones CORS en el mundo.

Fuente: El sistema de GPS diferencial global/ <https://www.gdgps.net/>

⁴⁶ GDGPS: (s. f.). <https://www.gdgps.net/>

5.5.5 Estaciones CORS en Centro América

El establecimiento de las Estaciones de Referencia de Operación Continua se dio a partir de los desastres ocasionados por la Huracán Mitch⁴⁷. El Servicio Geodésico Nacional (Nacional Geodetic Survey, NGS) de los Estados Unidos se encargó de desarrollar un marco moderno de referencia geodésica con precisión adecuada para la navegación terrestre, marítima y aérea; trabajos de cartografía y topografía; catálogo o inventario de recursos naturales; operaciones de socorro en todo tipo de desastres; levantamientos de ingeniería y catastro; y aplicaciones del Sistemas de Información Geográfica (SIG).

⁴⁷

NoaaGov,

J.

A.

(s. f.). Survey

Plan. <https://www.ngs.noaa.gov/PROJECTS/Mitch/plan112399.htm>

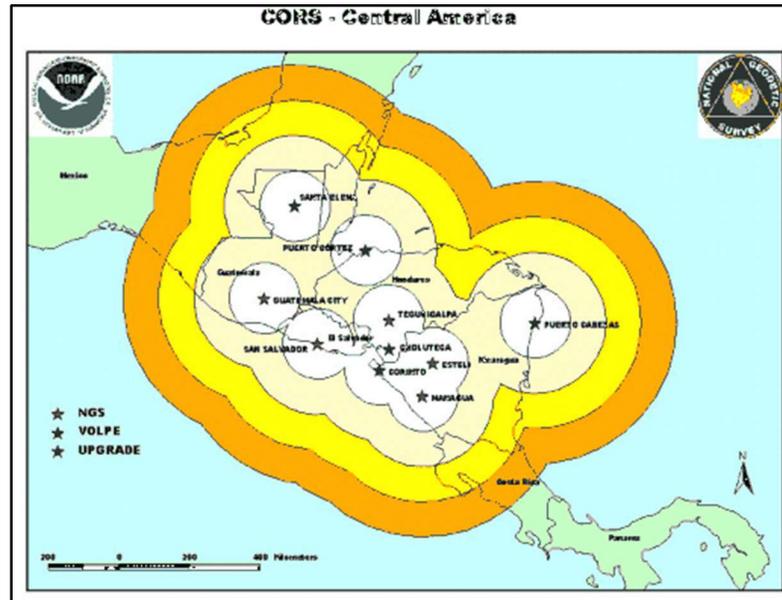


Figura 0.8 Estación CORS Centroamérica.

Fuente: Documentos Desarrollo E Implementación De Un Marco Geodésico Para El Salvador, Guatemala, Honduras Y Nicaragua

Guatemala: En el año 2000 fue instalada la CORS Guatemala City (GUAT). Empezando a funcionar en el mismo año y siendo supervisada y certificada por la NOAA, integrada a la Red Global NGS y en el 2002 fueron instaladas las CORS Santa Elena (ELEN) IGS y Huehuetenango (HUEH). Integrada a la Red Global NGS⁴⁸.

⁴⁸ Red Cors:: IGN Guatemala. (s. f.). <https://ignguatemala5.webnode.es/red-cors/#:~:text=La%20red%20CORS%20en%20Guatemala,sobre%20todo%20el%20territorio%20nacional.>



Figura 0.9 : Estaciones CORS en Guatemala.

Fuente: Desarrollo De Una Metodología De Evaluación De Las Redes De Apoyo Catastral

Honduras: en el año 2000 Tegucigalpa (TEG1), Tela y San Lorenzo (SLOR)⁴⁹.



Figura 0.10 Ubicación de las estaciones CORS: Lorenzo (SLOR), Tela y Tegucigalpa (TEG-I).

Fuente: Red Geodésica Activa De Honduras Y Su Enlace Con Sirgas.

Nicaragua: MANA fue establecida en el año 2000. Constituida por 3 estaciones de las cuales solo mana se encuentra vigente. En 2012, COCO Net actualiza el receptor de MANA y establece 2 nuevas estaciones. CN29, en la ciudad de Puerto Cabezas el 29 enero 2012 CN30, en la ciudad de Bluefields el 12 de febrero 2012⁵⁰.

49

chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Boletines/Bol16/Meza_Red_geodesica_Honduras.pdf

50

chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.ineter.gob.ni/documentos/Actualizaci%C3%B3n%20del%20Sistema%20Geod%C3%A9sico%20de%20Nicaragua.pdf

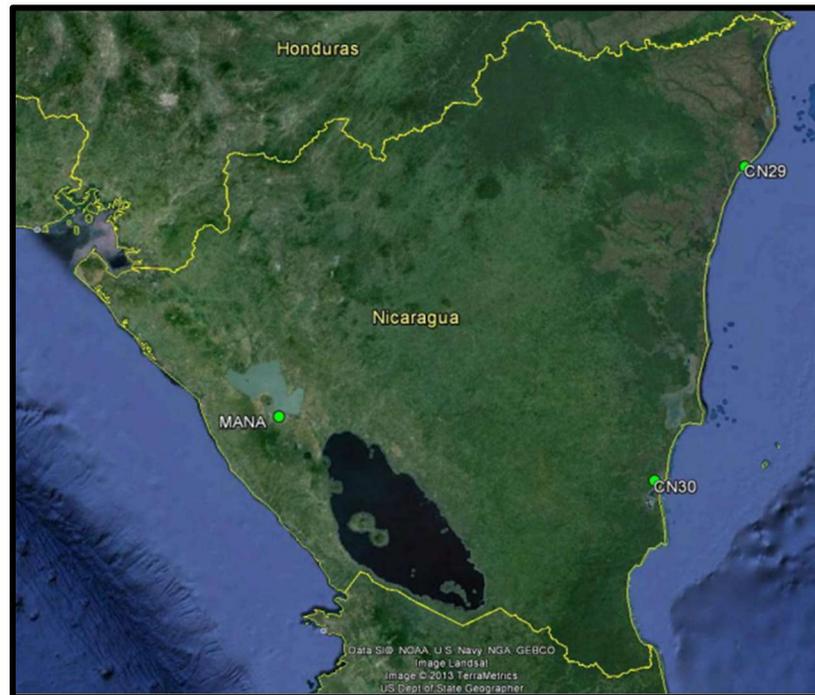


Figura 0.11 Estaciones CORS de managua.

Fuente: Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales (INETER)

El Salvador: En el año 2001 se estableció la primera estación de Referencia de operación Continua, llamada San Salvador Aeropuerto de Ilopango (SSIA), por el NGS y el Instituto Geográfico Nacional.

5.5.6 Estaciones CORS en El Salvador

El Salvador cuenta con una red de 14 estaciones permanentes, una por cada departamento del país, operadas y monitoreadas por el Instituto Geográfico Nacional – Centro Nacional de Registro, la primera fue fundada a partir del

programa de ayuda de reconstrucción por los desastres ocasionados por el huracán MITCH, esta se instaló en el aeropuerto de Ilopango en el año 2001 y desde ese entonces se ha mantenido en un 95% de su funcionamiento, además es la única estación que actualmente se puede acceder a su información bajo la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA).

Con el impulso de la tecnología satelital y los grandes avances alcanzados por países industrializados en dicha área, el Centro Nacional de Registros-Instituto Geográfico Nacional, en su proceso de modernización, actualización y mejoramiento inicia a mediados de la década de los noventa un proyecto muy ambicioso, el cual consistió en establecer su primera Red Geodésica de Primer Orden con equipo satelital GPS, enmarcándolo en el Sistema Geodésico Mundial (WGS-84). La Red de Referencia Salvadoreña, está conformada por tres vértices⁵¹:

1. SOLEDAD: Ubicado en Colonia La Cima, San Salvador
2. ESCORPION: Ubicado en el Municipio de Corinto, Morazán
3. SAN DIEGO NORTE: Ubicado en el Municipio de Metapán, Santa Ana.

⁵¹ 05/08/ GEODESIA EN EL SALVADOR - PDF Descargar libre. (8945, 8 mayo). <https://docplayer.es/8738945-05-08-2007-1-geodesia-en-el-salvador.html>

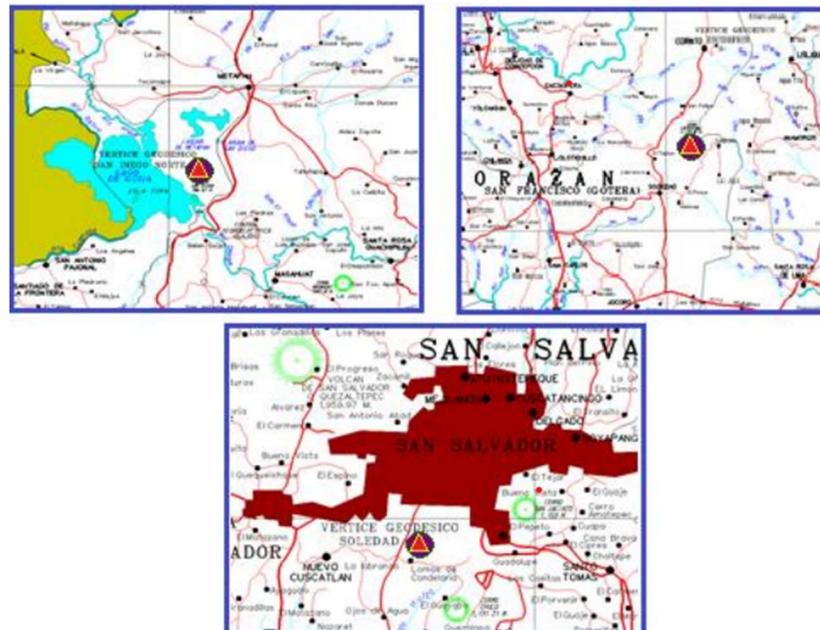


Figura 0.12 Red de referencia salvadoreña.

Fuente: Manual Técnico Para El Levantamiento Geodésico Con GPS De Una Frecuencia Aplicando El Sistema Global De Navegación (GNSS).

**CAPÍTULO VI ESTABLECIMIENTO DE ESTACIÓN GPS
PERMANENTE**

6.1 Gestión para utilizar GPS como base

Se realizó la gestión respectiva para la Instalación de Estación permanente con el Director de Escuela de Ingeniería Civil, para iniciar el proceso de establecimiento.

6.2 Reconocimiento del sitio a elegir

La función principal de una estación permanente es la recopilación constante de las observaciones, verificación de la calidad de los datos, conversión de los datos crudos a un formato convencional, almacenamiento de la información y distribución mediante un servidor de Internet, es por ello por lo que al momento de elegir un sitio adecuado se debe observar que el sitio elegido para su establecimiento cumpla con algunos requisitos, para que garanticen operabilidad y calidad de SIRGAS-CON.

6.2.1 Requerimientos mínimos para recepción satelital

- La estación debe ubicarse sobre un material estable, evitando zonas vulnerables a deslizamientos, hundimientos, variaciones verticales por agua subterránea u otras fuentes de deformación.
- El horizonte entorno a la estación debe estar libre de obstáculos sobre un ángulo de elevación entre 0 y 5 grados.

- La presencia de obstáculos debe ser mínima.
- El lugar seleccionado para la estación no debe verse afectado por cambios futuros en su entorno, por ejemplo: construcción de edificios, adiciones en tejados, mástiles para antenas, etc.
- El lugar seleccionado para la estación debe estar libre, de la mejor manera posible, de radio interferencias y de superficies reflectivas u otras fuentes de señal reflejada.
- La ubicación de la estación no debe verse afectada por vibraciones excesivas, ya sean naturales o causadas por el hombre, como por ejemplo mareas oceánicas o tráfico vehicular pesado.
- El receptor/antena es al menos de doble frecuencia (L1 y L2)
- El receptor rastrea al menos diez satélites por encima de 0 grados.
- La antena y el monumento deben ser nivelados.
- Longitud del cable de conexión antena/receptor, no exceda un máximo 30 metros.
- Los datos están disponibles gratuitamente para su distribución.
- Los datos se registran en un intervalo de 15 - 30 segundos o menos.
- Tener acceso a Internet en el sitio.

6.2.2 Solicitud de permisos de instalación

- Solicitud de Instalación de Estación permanente al Director de Escuela de Ingeniería Civil.
- Solicitud de IP a Escuela de Ingeniería de Sistemas Informáticos.
- Solicitud de Correo Institucional al Director de Escuela de Ingeniería Civil.
- Solicitud de instalación de internet al Director de Escuela de Ingeniería Civil.

6.3 Instalación de la estructura GPS.

Ubicación.

Para la elección del sitio donde se procedió la instalación de la estación permanente es dentro del campus de la Universidad de El Salvador, Facultad de Ingeniería y Arquitectura precisamente en la escuela de Ingeniería Civil, se basó en las características mínimas que debe tener una estación (GNSS⁵²) para ser incluida en la red SIRGAS. La estación se encuentra ubicada en una zona estable apartada de fallas geológicas, el horizonte alrededor de la antena está libre de obstáculos hasta un ángulo de mascara de 5 grados, se encuentra libre de obstrucciones reflejantes para evitar las trayectorias múltiples, la separación de

⁵² *Global Navigation Satellite System*

la antena-receptor es inferior a 30 metros, el acceso es sencillo para facilitar el mantenimiento en caso fuera necesario, está en una zona libre de vandalismo.

La estación está colocada sobre el alero en la parte central de la escuela de ingeniería Civil, como se muestra en la Figura 6.1 y esta estructura ha superado el periodo de asentamiento pues es una construcción de más de 30 años y no presenta daños estructurales ni procesos notables de fracturamiento o hundimiento, por lo tanto, la estación no podrá ser afectada por cambios en su entorno.



Figura 0.1 Antena sobre el alero en la parte central de la escuela de Ingeniería Civil.

Fuente: Propia

Monumentación o estructura.

La monumentación es extremadamente importante, ya que es una de las características principales para asegurar la confiabilidad de la estación. La misma debe asegurar un alto grado de estabilidad posicional a lo largo del tiempo y un bajo impacto en las señales (GNSS).

Para la monumentación se utilizó una estructura de acero con abrazaderas metálicas que van empotradas en la pared por medio de pernos enroscados. A continuación, se muestra en la Figura 6.2 la estructura de Acero, en la Figura 6.3 el anclaje por medio de las abrazaderas y la estructura apoyada sobre el suelo.



Figura 0.2 Estructura de acero nivelada.

Fuente:Propia



Figura 0.3 Anclaje por medio de abrazaderas empotradas con pernos sobre alero y apoyada sobre el suelo.

Fuente: Propia

6.4 Instalación de antena GPS y Receptor.

La antena de una estación permanente al igual que los receptores también debe cumplir con ciertas especificaciones, las cuales pueden variar según el tipo de red a la cual se desea incorporar, la antena de la estación permanente es una PG-A1 Topcon Ver Figura: 6.4



Figura 0.4 Antena PG-A1 Topcon.

. Fuente: Propia

Tomado

de:

https://www.geoida.pl/attachment/pga1_specs_broch_7010_2006_reva.pdf 29-

03-2023. Topcon continúa liderando a todos los fabricantes de GNSS con una multitud de productos nuevos e innovadores. La antena GNSS PG-A1 continúa complementando la línea completa de productos GNSS de Topcon.

Esta antena geodésica de doble frecuencia/doble constelación demuestra claramente que la experiencia en antenas de Topcon es de clase mundial. Con la tecnología de microantena central de precisión, tiene el mejor diseño disponible para lograr las más altas precisiones horizontales y verticales. El plano de tierra integrado también ayuda a eliminar errores causados por rutas múltiples.

La antena PG-A1 está diseñada para acompañar a los receptores modulares de Topcon como el GB-1000, GB-500, Legacy -E+. y Odyssey-RS, así como el innovador GRS-1. A continuación se detallan las especificaciones en el tabla 6.1

PG-A1	
Frequency	Dual Frequency GPS + Glonass
Centering	Precision Micro Center
Type	Microstrip on flat ground plane
Weight	492g
Dimensions	141.6 x 141.6 x 53.7mm
DC Voltage	+2.7 ~ +12V; 25 mA @5.0typ.
LNA Gain	30 ± 2dB
Output	50 Ohm
Connector	TNC female
Environmental	Waterproof
Operating Temp.	-40°C ~ +55°C
Shock Resistance	2-meter Pole Drop

Tabla 0.1 Especificaciones de la Antena PG-A1 Topcon

Fuente: PGA1_Specs_Broch_7010_2006_RevA.indd (geoida.pl)

Instalación de la antena GPS.

Luego de instalado la estructura de la estación GPS se procede con la instalación de la antena, enroscándola sobre la estructura de acero, se verifica que la antena se encuentre nivelada, estable y orientada al Norte Magnético ver Figura 6.5.

Luego se conecta un extremo de cable coaxial en la antena ver Figura 6.6 esta antena su función será captar la señal de los diferentes satélites y estaciones de los sistemas de posicionamiento y la reportará a los equipos siendo el receptor el encargado de amplificar el procesamiento.



Figura 0.5 Antena nivelada y enroscada sobre estructura de acero.

. Fuente: Propia



Figura 0.6 Extremo de cable coaxial conectada sobre antena.

. Fuente: Propia

Receptor

Los receptores de las estaciones permanentes deben cumplir con ciertas normas o características, para ser integradas a una red de estaciones permanentes, en nuestro caso el receptor utilizado en la estación permanente es del tipo TOPCON GB-1000, como se muestra en la Figura 6.7 cuyas características son las siguientes:



Figura 0.7 Receptor GB-1000 Topcon.

. Fuente: Propia

Tomado de:
file:///C:/Users/windows%2010/Downloads/GB1000_GB500_REVA_01.pdf , el
 28-03-2023

“El GB-1000 proporciona un diseño avanzado de tablero de GPS+ Receptores de doble frecuencia y constelación de Topcon dentro de una carcasa resistente y compacta”⁵³.

Los sistemas de posicionamiento de Topcon, a través de nuestra avanzada tecnología de chip de paradigma, es el primer fabricante que ofrece una personalización completa del receptor que compra, siguiendo la tradición de otros

⁵³ Advanced Design Modular GPS+ Receivers GB-100/
 file:///C:/Users/windows%2010/Downloads/GB1000_GB500_REVA_01.pdf

GPS+ Receptores de Topcon, este nuevo modelo también proporciona una personalización y actualización completas para el usuario.

El GB-1000 ofrece una pantalla LCD y un panel de operación integrados. esta pantalla e interfaz es ideal para comprobar el estado del satélite y del receptor, iniciando el funcionamiento de la base RTK o gestionar las operaciones topográficas estáticas. el GB-1000 también proporciona una ranura para tarjeta de memoria flash compacta y soporte de comunicación avanzado. Con conexiones USB, serie y ethernet, casi todos los enlaces de comunicación son compatibles, incluida la conectividad LAN, WAN e Internet.

- Canales de seguimientos estándar: 40L1 GPS (20 GPS L1+ L2)
- Canales de seguimiento opcional: 20 GPS L1 + L2, GLONAS
- Señales rastreadas: 20 L1/L2, C/A Código-P, Portador de ciclo completo.
- Modos de medición: Estatico/rápido estático, cinemática RTK.

Instalación de receptor.

Luego de instalada la antena donde tiene conectada un extremo del cable coaxial se procede a conectar el otro extremo del cable sobre el receptor, el receptor se conecta por medio de un cable de comunicación tipo RS 232 hacia la computadora, que permitirá manipular los datos mediante un software instalada

en la PC. La computadora deberá estar conectada a una UPS que permitirá tener flujo de energía mediante baterías cuando el suministro eléctrico falla, de la misma manera, sirven para proteger los dispositivos que se encuentran conectados cuando hay elevación o disminución de tensión, o sostener su funcionamiento cuando suceden pequeños cortes de energía.



Figura 0.8 Receptor GB-1000 Topcon.

. Fuente: Propia



Figura 0.9 Receptor conectado a la fuente de energía, a la PC y a la antena GPS.

. Fuente: Propia



Figura 0.10 Cable de comunicación tipo RS 232 que conecta el receptor con la PC.

Fuente: Propia



Figura 0.11 Receptor instalado.

. Fuente: Propia



Figura 0.12 Equipo informático instalado a la estación GPS permanente.

. Fuente: Propia

Los equipos de la estación permanente GNSS no deben ser apagados, perturbados o cambiados a no ser que sea estrictamente necesario por daño, actualización o renovación de estos, los equipos cuentan con protección contra interrupciones del fluido y descargas eléctricas de la atmosfera como El SIRGAS recomienda.

6.5 Gestión de equipos informáticos.

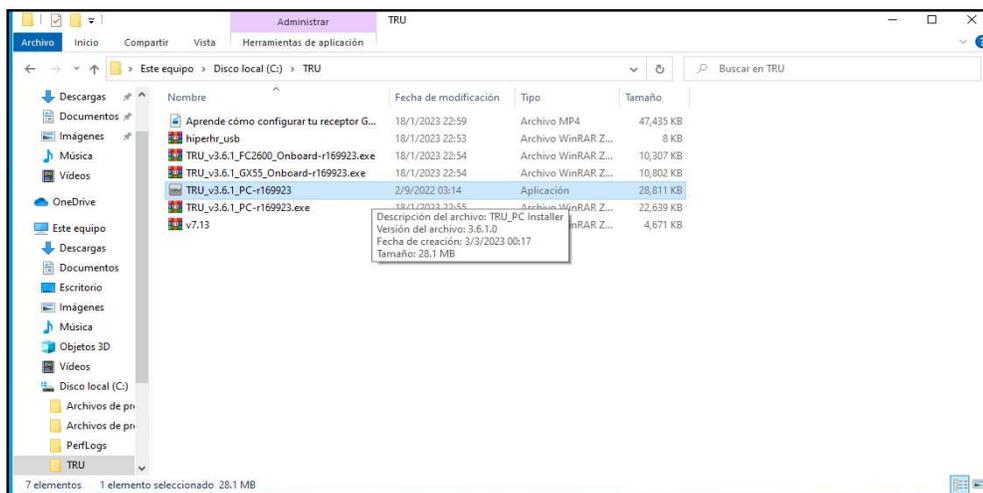
Para nuestro proyecto de tesis con el tema Establecimiento de una estación GPS permanente en la Facultad De Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador, se gestionó a la Facultad de Ingeniería y Arquitectura una PC, que serviría para la recolección y manipulación de datos por medio de un Software, para la institución fue difícil proporcionar este equipo ya que no contaban con una PC que presentara buenas condiciones y cumpliera con las especificaciones requeridas para el funcionamiento que se destinaria, por lo tanto, el grupo de tesis fue quien proporcionó la Computadora con todos sus accesorios ver Figura 6.13 Por parte de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura se pudo gestionar como parte del equipo informático la IP, internet y correo institucional que funcionara para subir información por medio de Google Drive.



Figura 0.13 Equipo informático para estación GPS permanente.

. Fuente: Propia

6.6 Configuración del Software en el Equipo Informático.



El primer paso para desarrollar será descargar el programa del sitio Web, el programa se llama TOPCON RECEIVER UTILITY (TRU) versión 3.6.1.

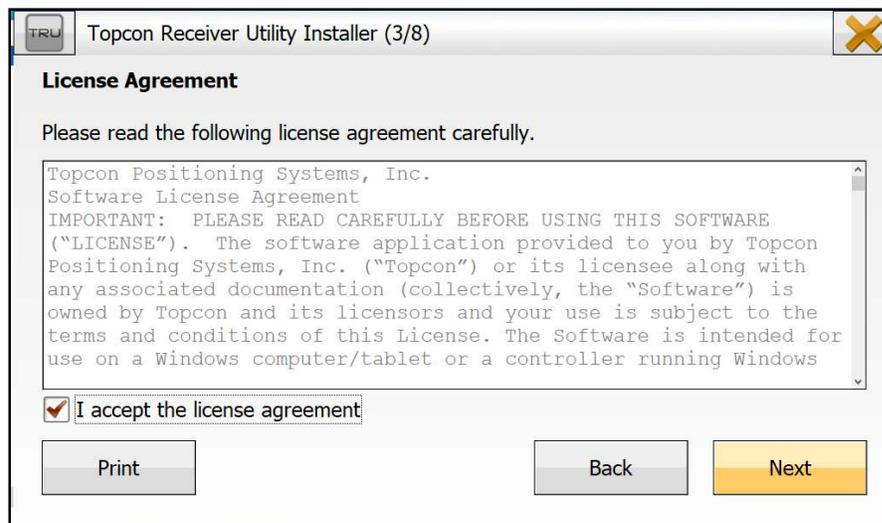
Luego de descargar el programa se procede a la instalación del software en el equipo informático, dando clic derecho y seleccionar ejecutar como administrador.



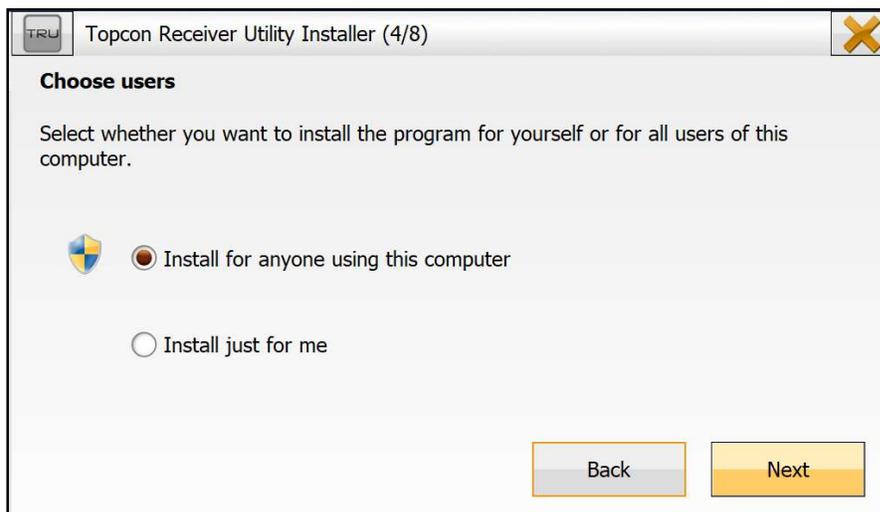
Aparece la siguiente venta y seleccionamos Next



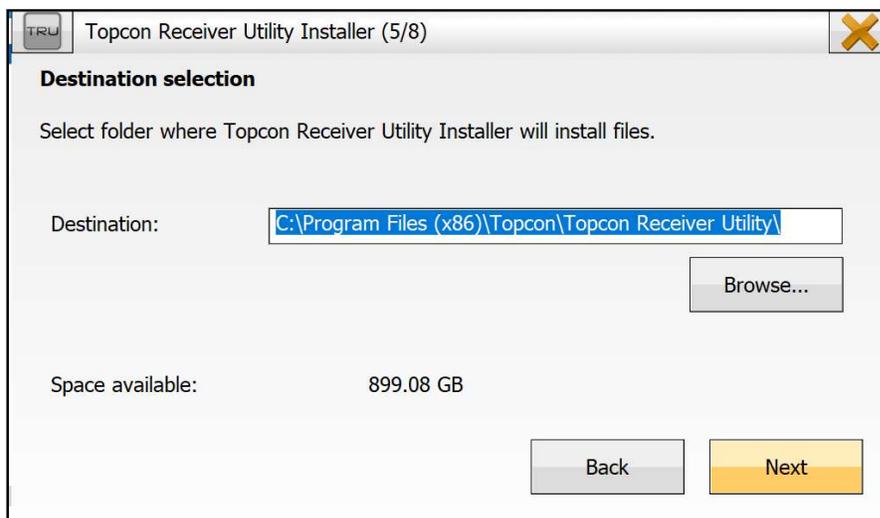
Seleccionamos nuevamente Next



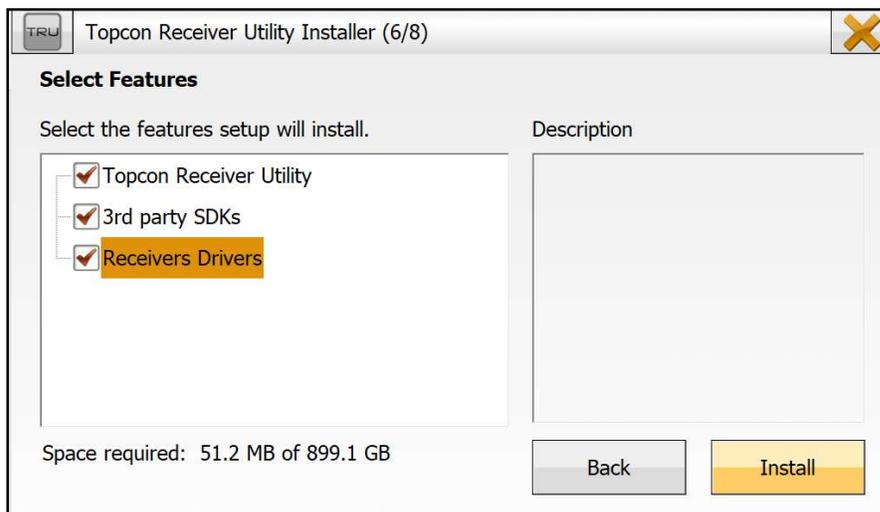
Seleccionar la casilla acepto la licencia, luego clic en Next.



Seleccionar la casilla instalar para cualquier equipo y dar clic en Next



Se observa la ruta donde se va instalar, luego presionamos en Next.



Seleccionamos la casilla Receivers Drivers, y presionamos instalar.



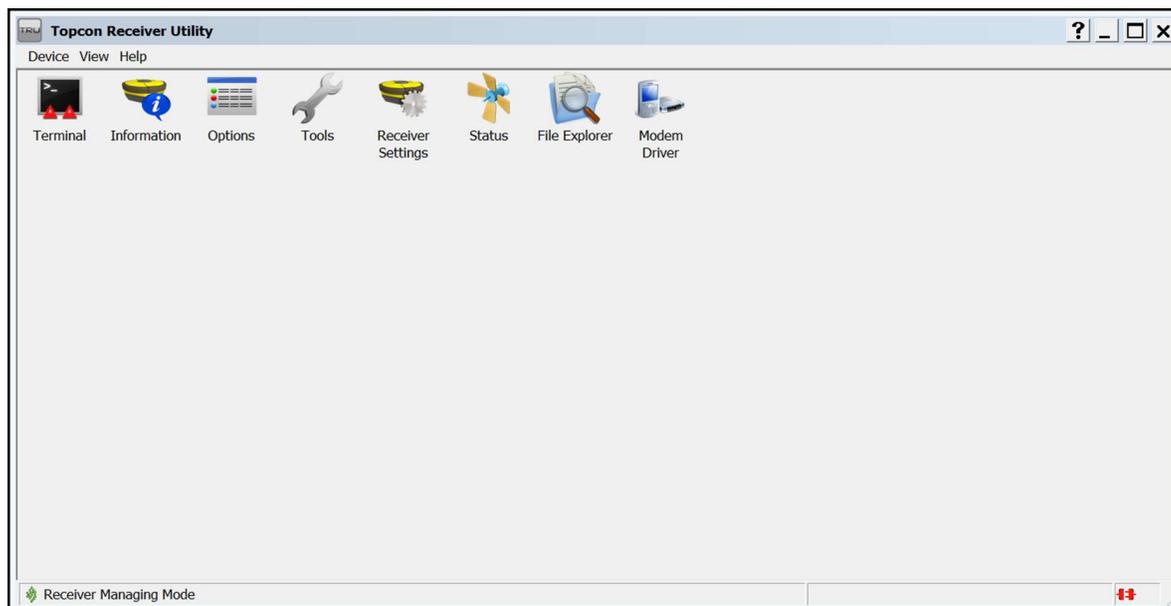
Seleccionamos instalar.



Seleccionamos la casilla de iniciar utilidad del receptor Topcon, y presionamos Finish.

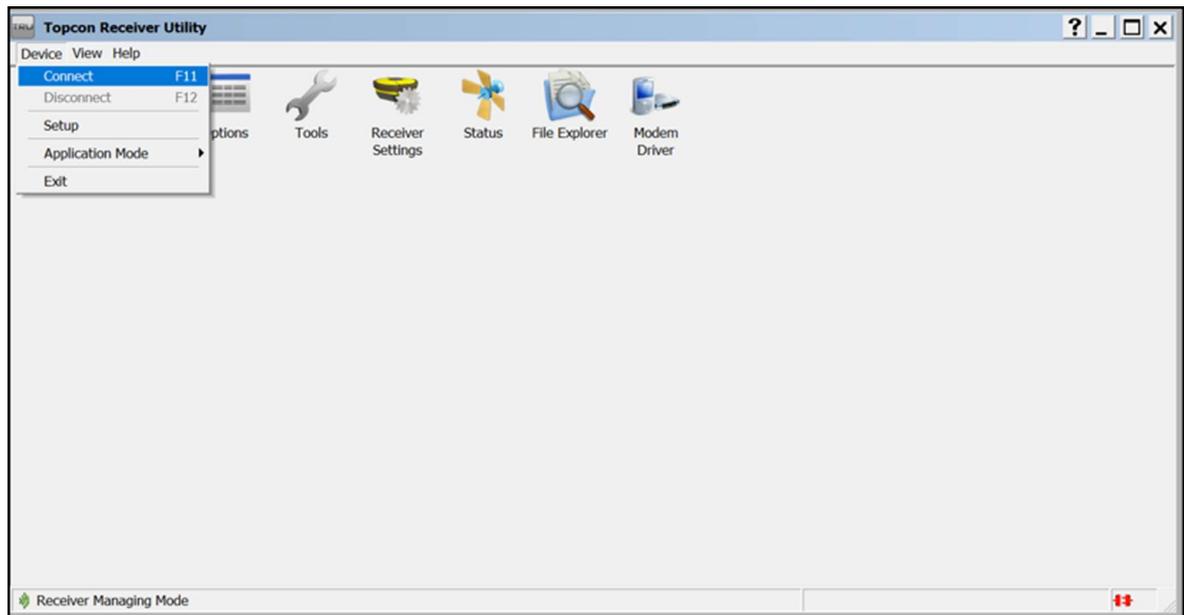
6.7 Configuración de protocolos de comunicación

Después de haber instalado el programa se muestra la pantalla principal del programa:

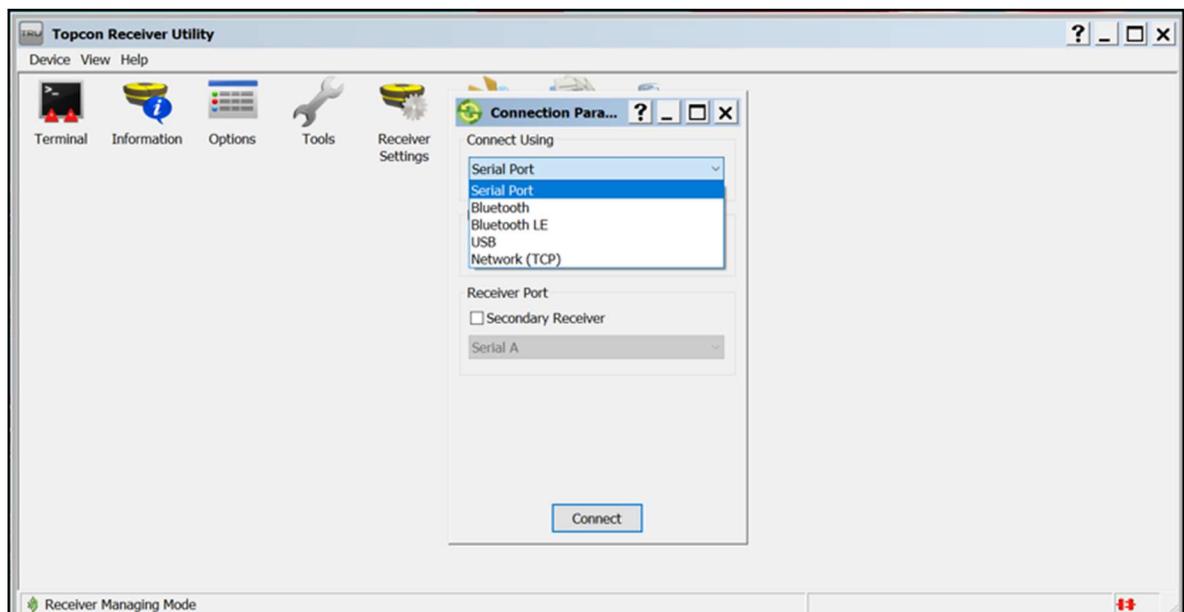


Para poder configurar el programa para toma de datos se deben seguir los siguientes pasos:

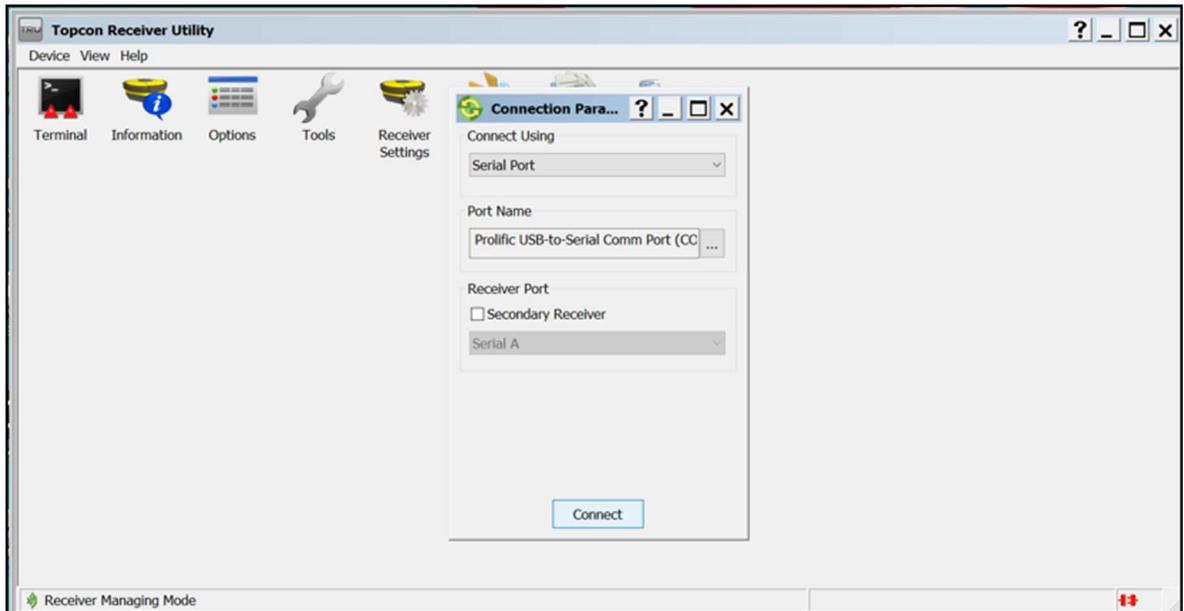
Paso 1: Para iniciar el programa seleccionamos en la pestaña Device (dispositivo) la opción conect (conectar)



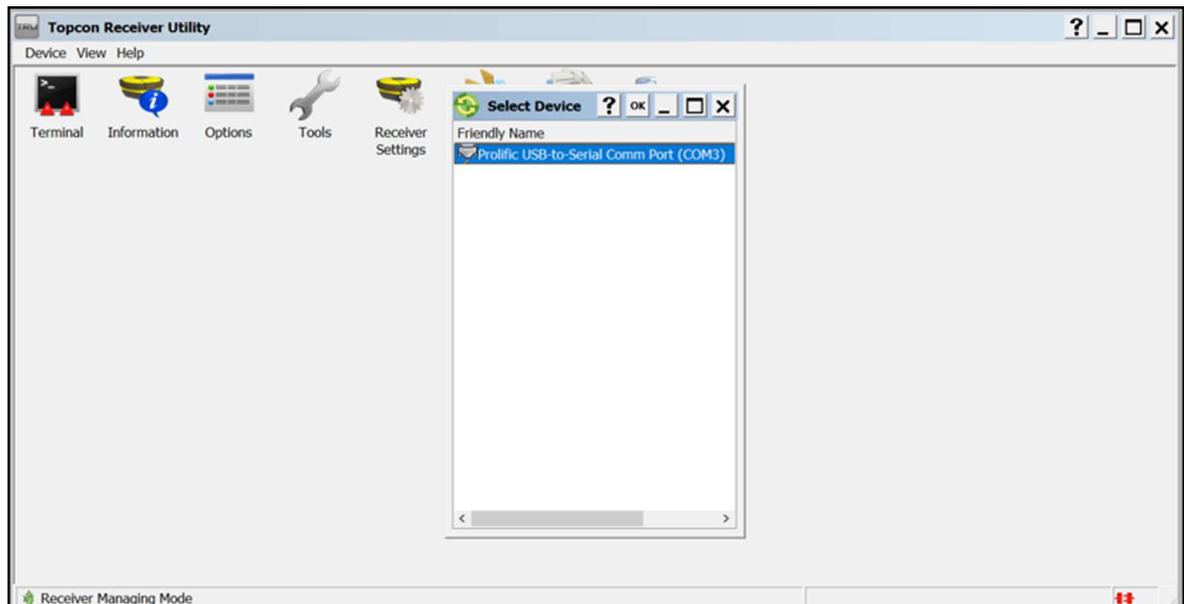
Al seleccionar la opción conect (conectar) se despliega la siguiente ventana y seleccionamos la opción de serial port (puerto serial).



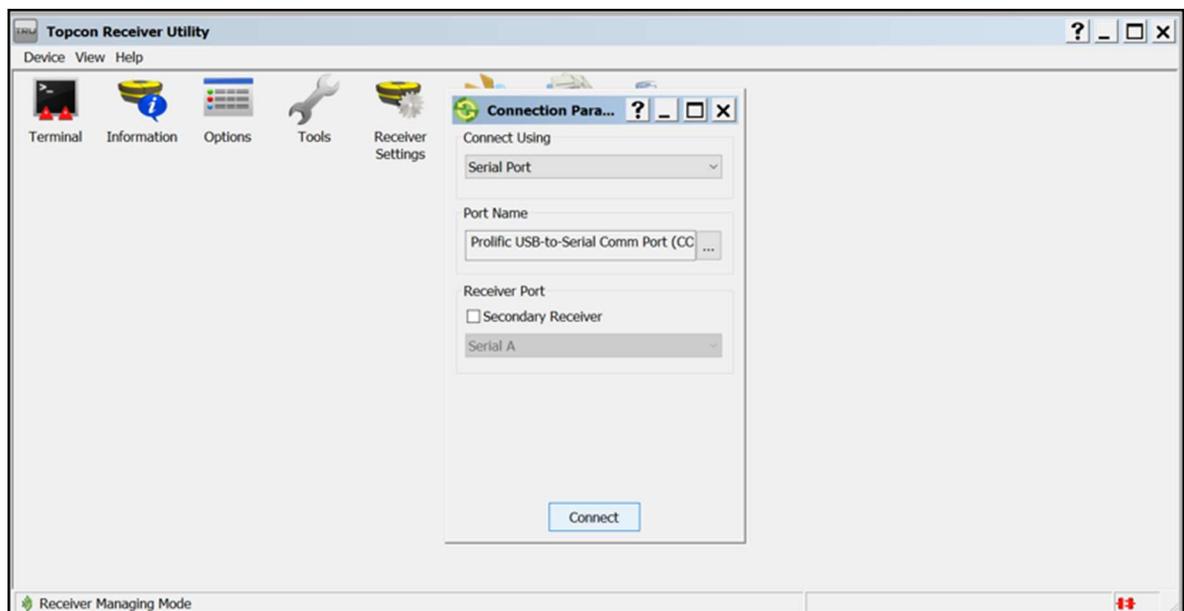
Luego seleccionamos port name (nombre del puerto).



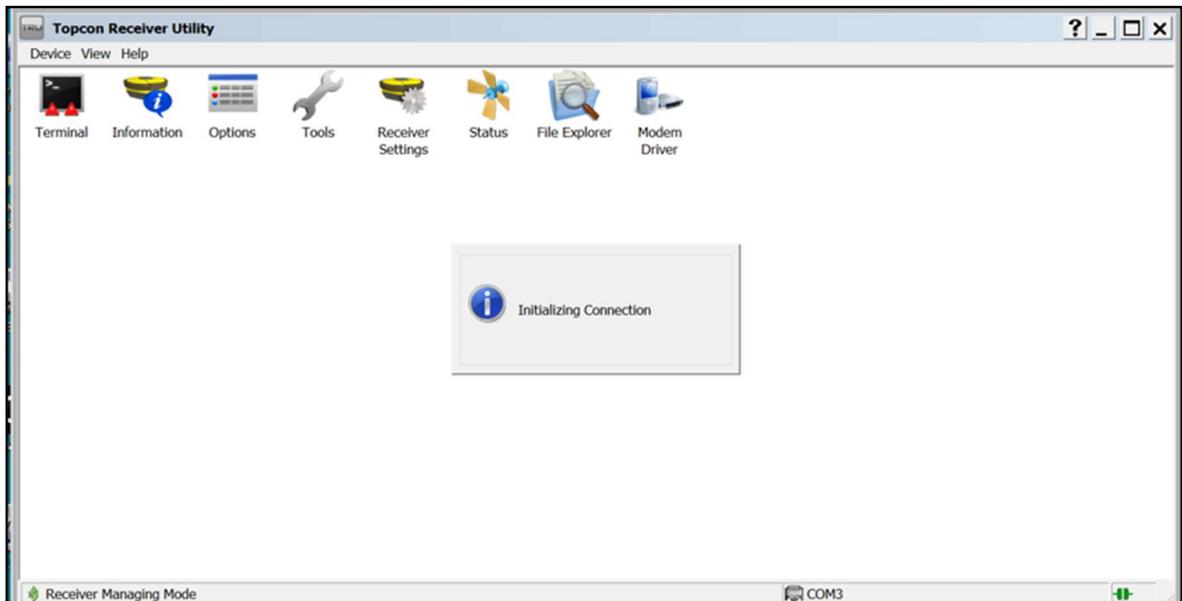
Seleccionamos el puerto donde se encuentra conectado nuestro cable convertidor de RS232 a USB, previo a eso con la ayuda de archivos Drive del convertidor fue configurado.



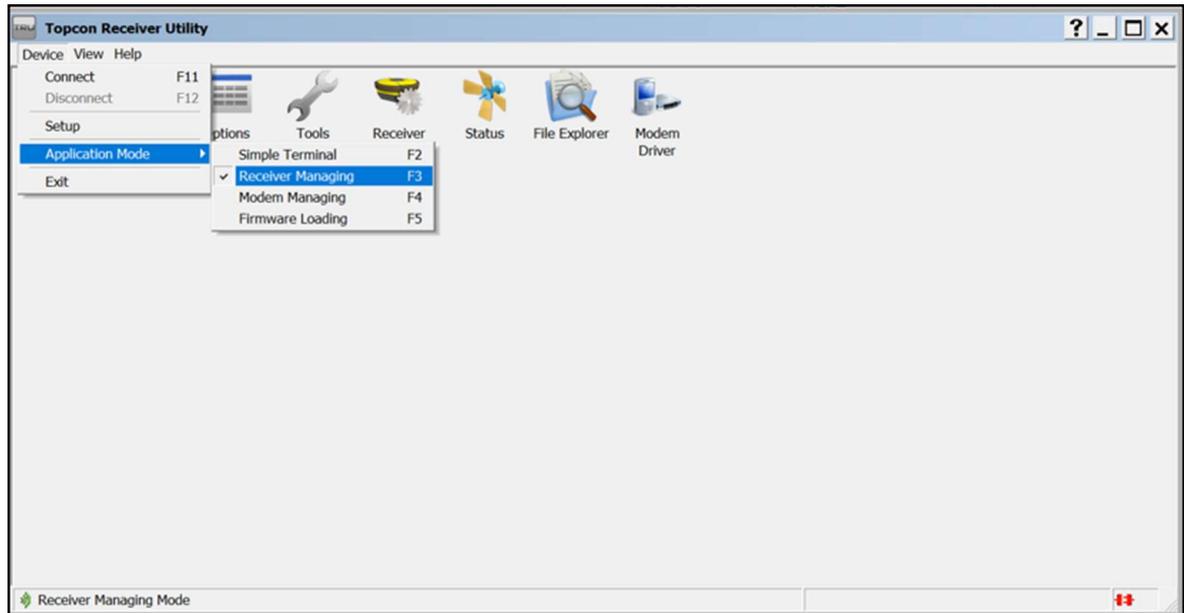
Luego de haber seleccionado estas opciones deben quedar así:



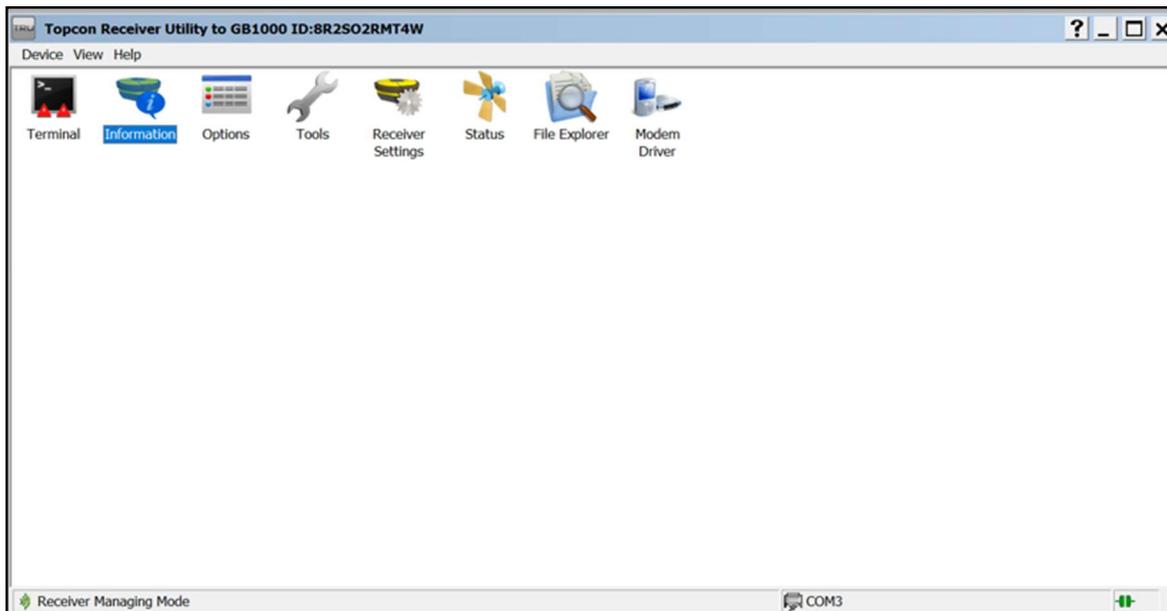
Seleccionamos Connect y esperamos a que se inicie la conexión, veremos que en la parte inferior derecha las flechitas se tornan de rojo a verde, dado que se inició la conexión.



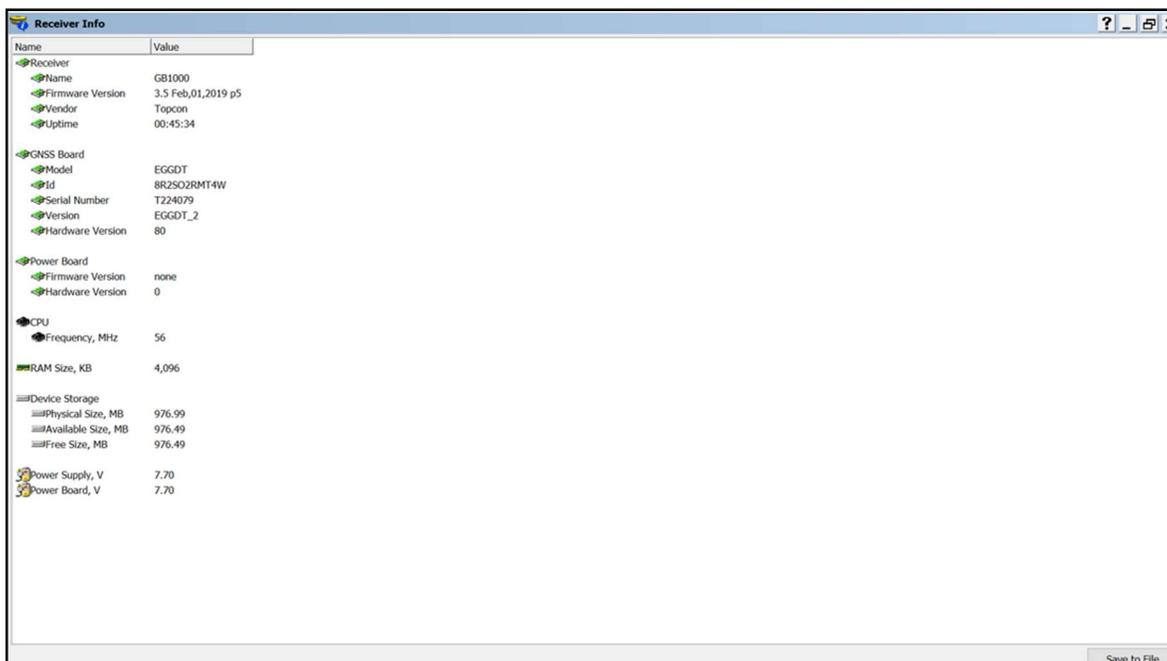
Luego de haber iniciado seleccionamos la pestaña Device (dispositivo) seleccionamos application mode (modo de aplicación) y seleccionamos la opción de Receiver managing (gestión de receptores).



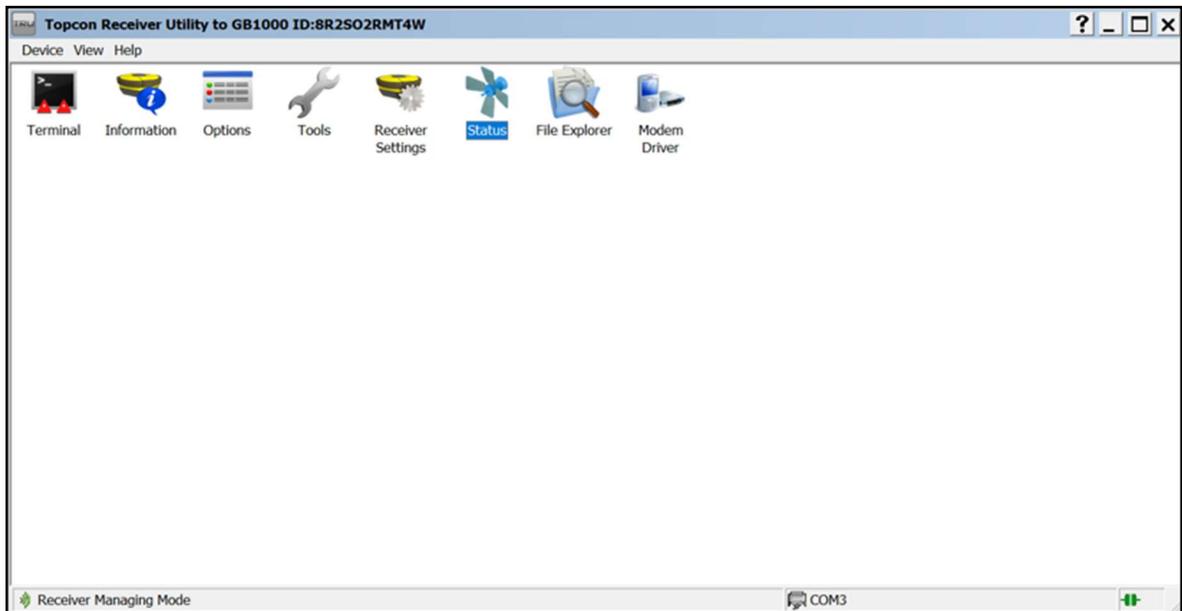
Luego de haber seleccionado el modo de asignación podemos ver lo que encontramos en el icono de information (Información).



Se despliega la siguiente información, que nos muestra datos del programa.

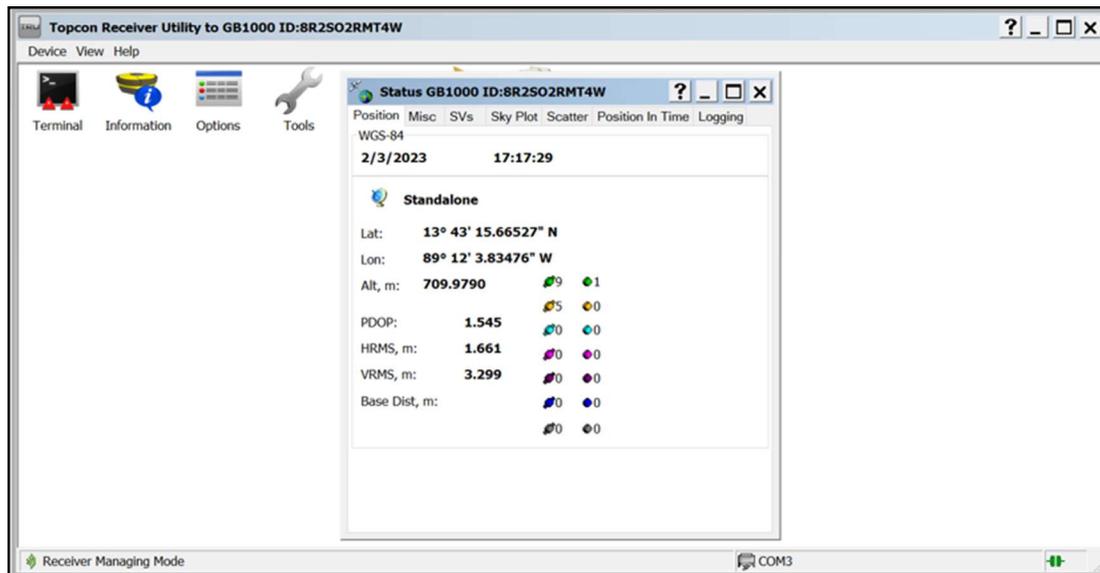


Paso 2: Luego de haber iniciado la conexión del programa con nuestro receptor terminamos de configurar el programa como se muestra a continuación.

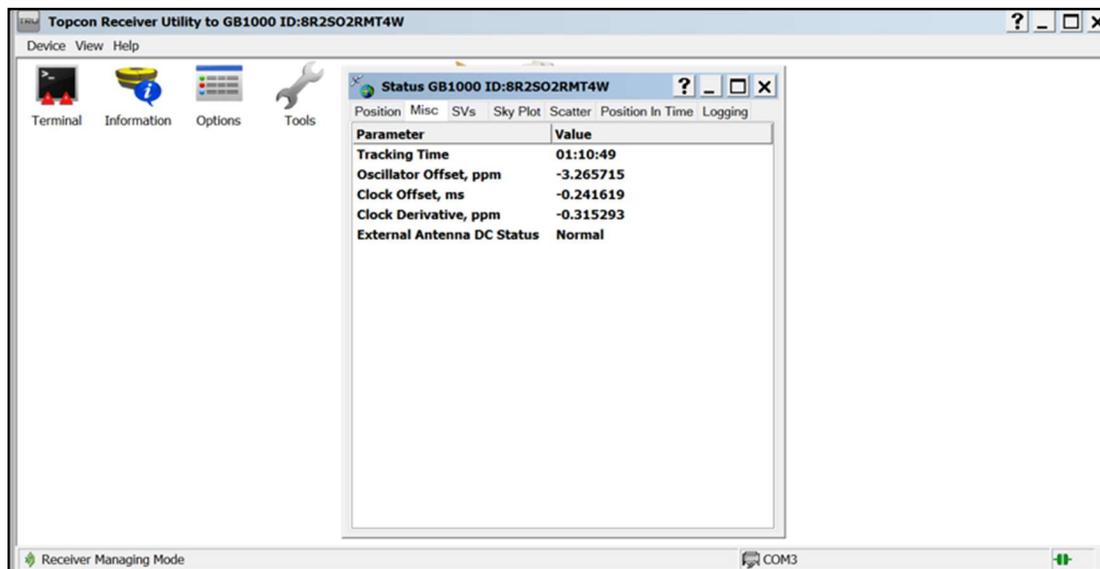


Al seleccionar el icono de Status podremos configurar la recepción de los datos y cada cuanto tiempo se necesitan.

En la pestaña **position** (posición) se muestran los datos de latitud, longitud, altitud como se muestra en la siguiente imagen.



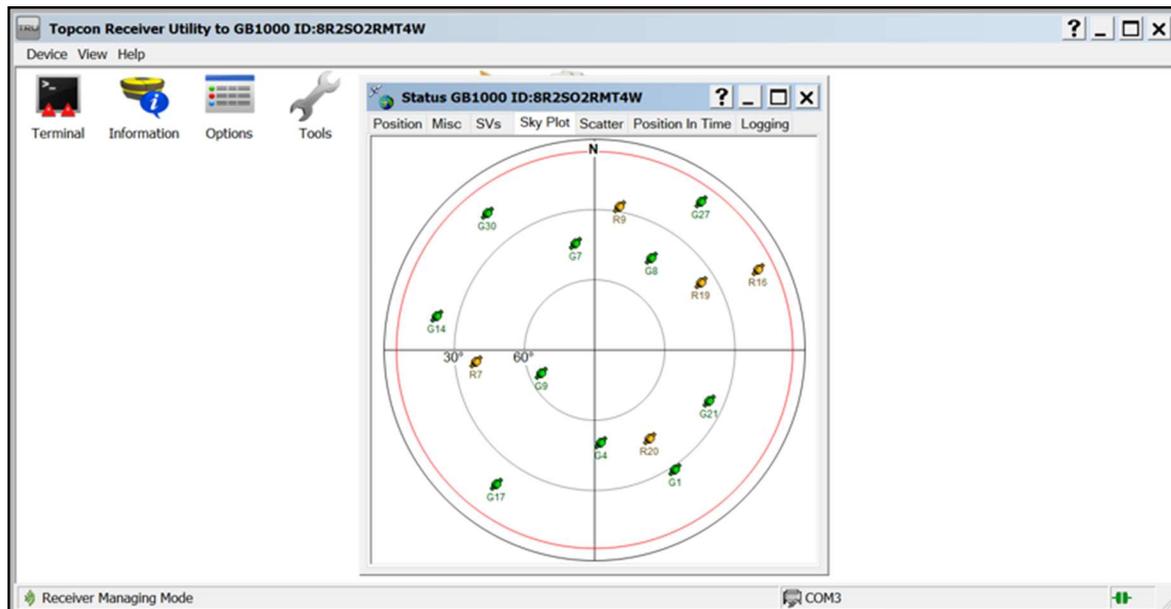
Al seleccionar la pestaña **Misc** (varias) encontramos:



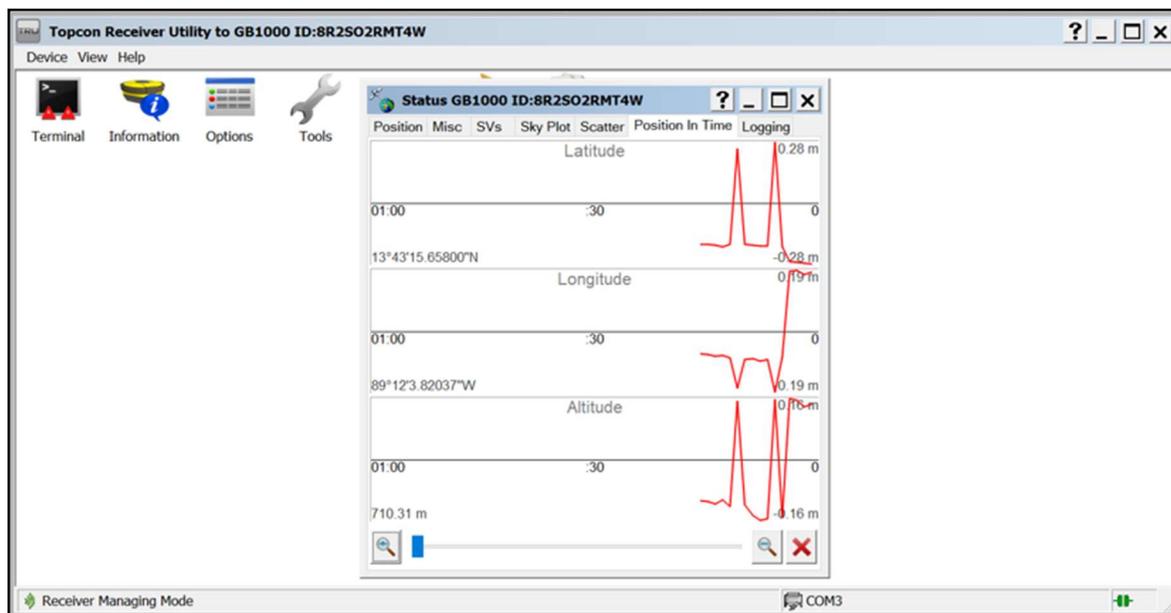
En la pestaña SVs encontramos en lista algunos de los satélites que se logran localizar:

PRN	EL	AZ	C/A	L1C	L2C	L1P	L2P	L5
G1	28+	146	40			26	26	
G4	50-	176	43			32	31	
G7	44+	350	44			32	32	
G8	45-	32	44			32	32	
G9	65-	246	47			38	38	
G14	21+	280	36			8	8	
G17	19+	216	38			20	21	
G21	36+	114	42			27	27	
G27	12-	36	38			31	31	
G30	16+	322	34			14	14	
SN	EL	AZ	C/A	L2CA	L1P	L2P	L3	
R7	39-	264	43		42	44		
R9	28+	10	40		39	40		
R16	12-	64	34		34	34		
R19	37-	58	32		31	41		
R20	45+	148	33		32	37		

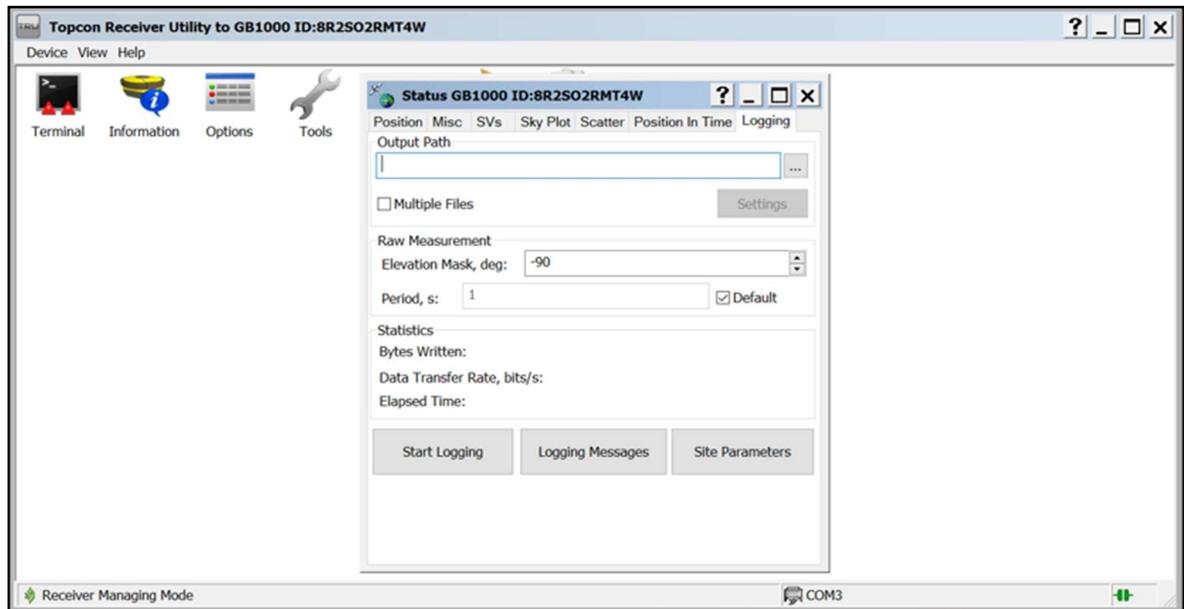
En la pestaña **Sky Plot** (trama del cielo) encontramos los satélites localizados donde se nos muestran cuatro cuadrantes donde podemos visualizar el Norte:



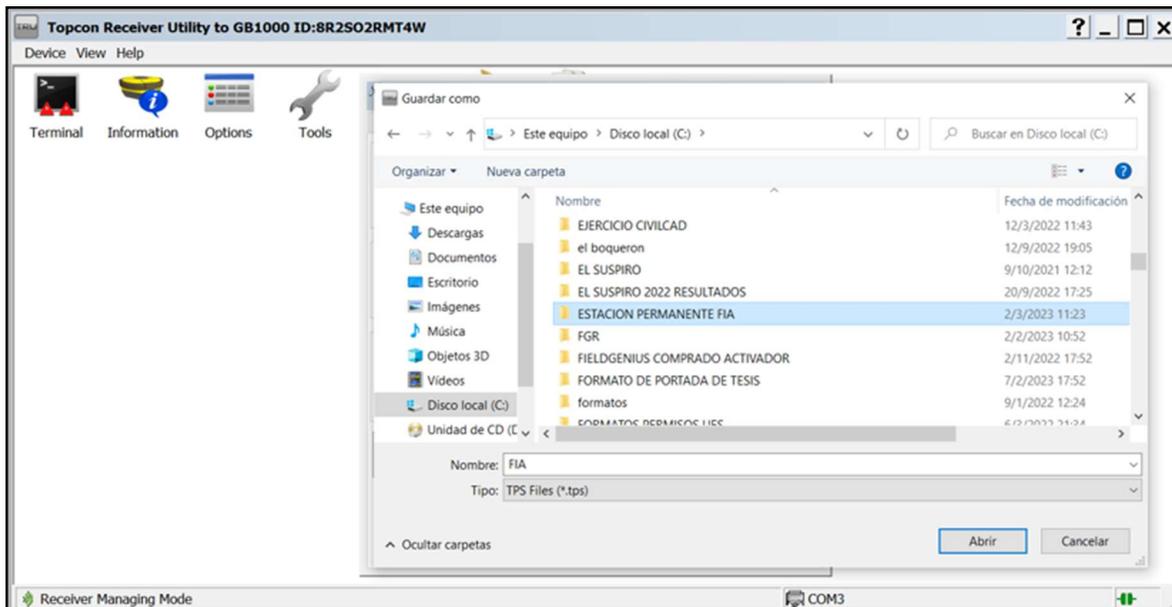
En la pestaña **Position in Time** (posición en el tiempo) encontramos la medida de latitud, longitud y altitud respecto al tiempo:



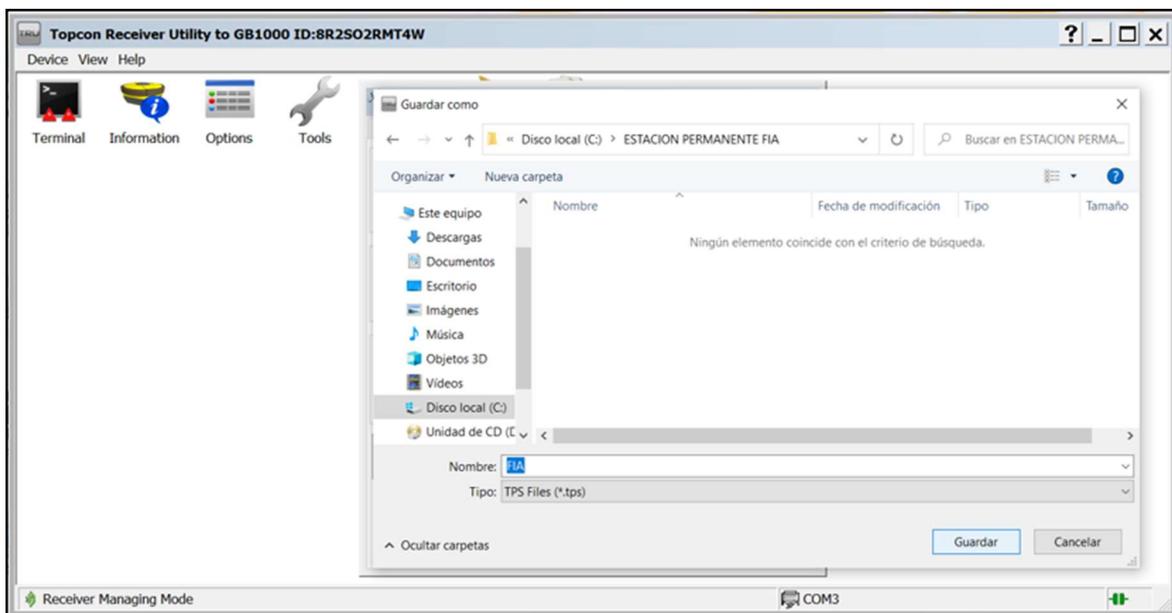
Al llegar a la pestaña **Logging** (inicio de sesión) es donde debemos tener presente la configuración que queremos para nuestra Estación, ya que la configuración que se haga será la que quedara definida:



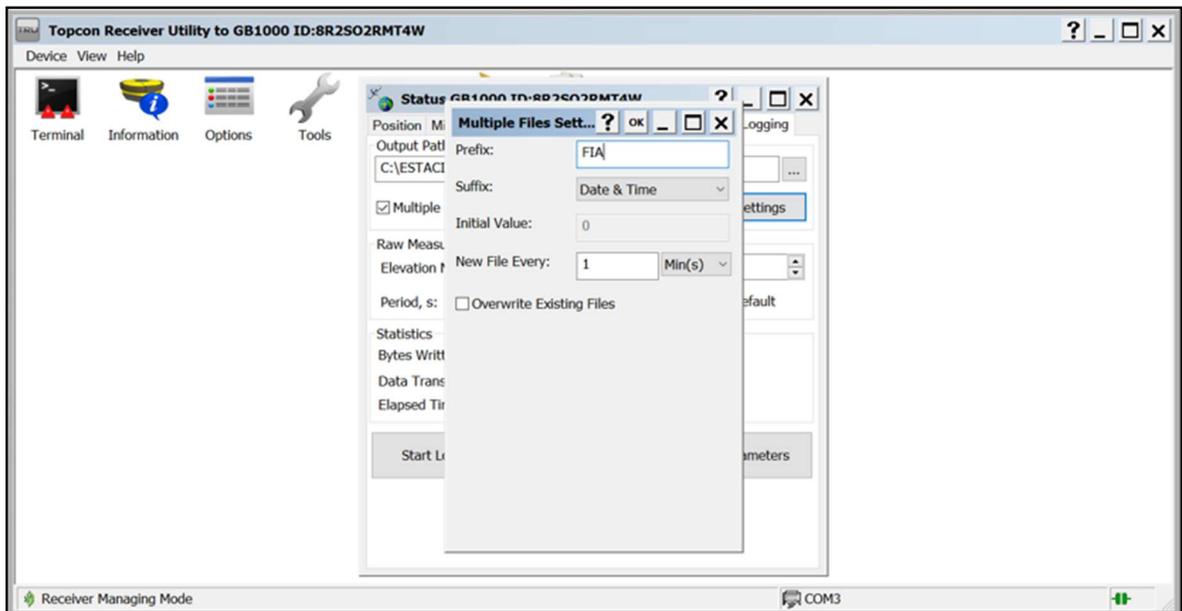
Cuando seleccionamos **Output Path** (ruta de salida) seleccionaremos el lugar donde queremos que se guarden los datos tomados por nuestra Estación, en este caso se creó una carpeta en el disco C de nuestra computadora llamada ESTACION PERMANENTE FIA.



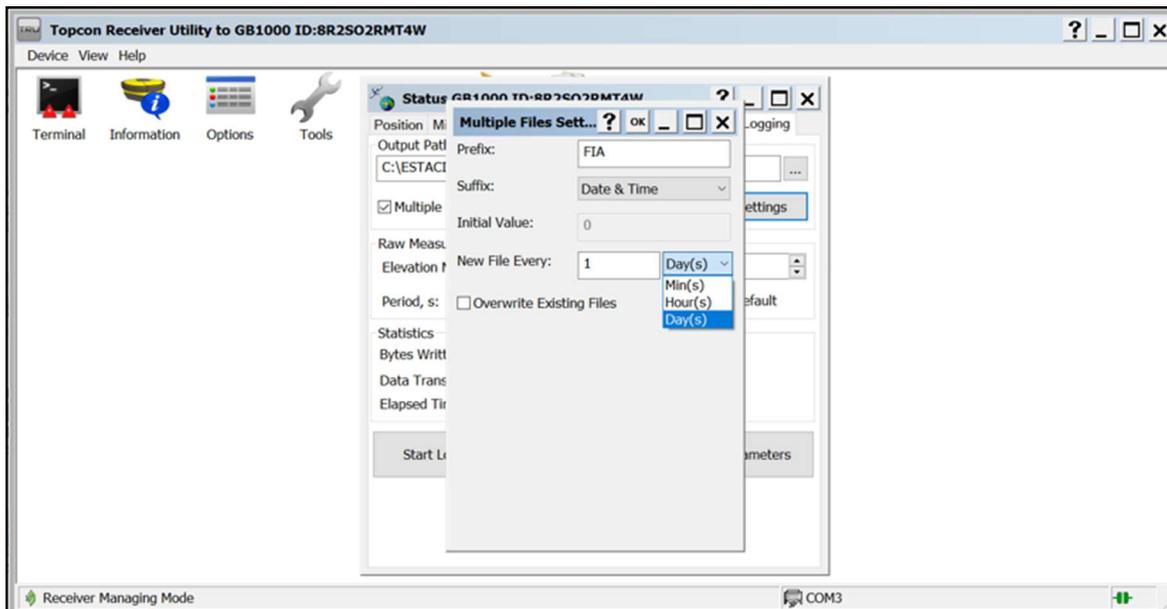
Seleccionamos la carpeta y en ella guardaremos los datos que serán tomados por la Estación, le colocamos el nombre de FIA y damos Guardar.



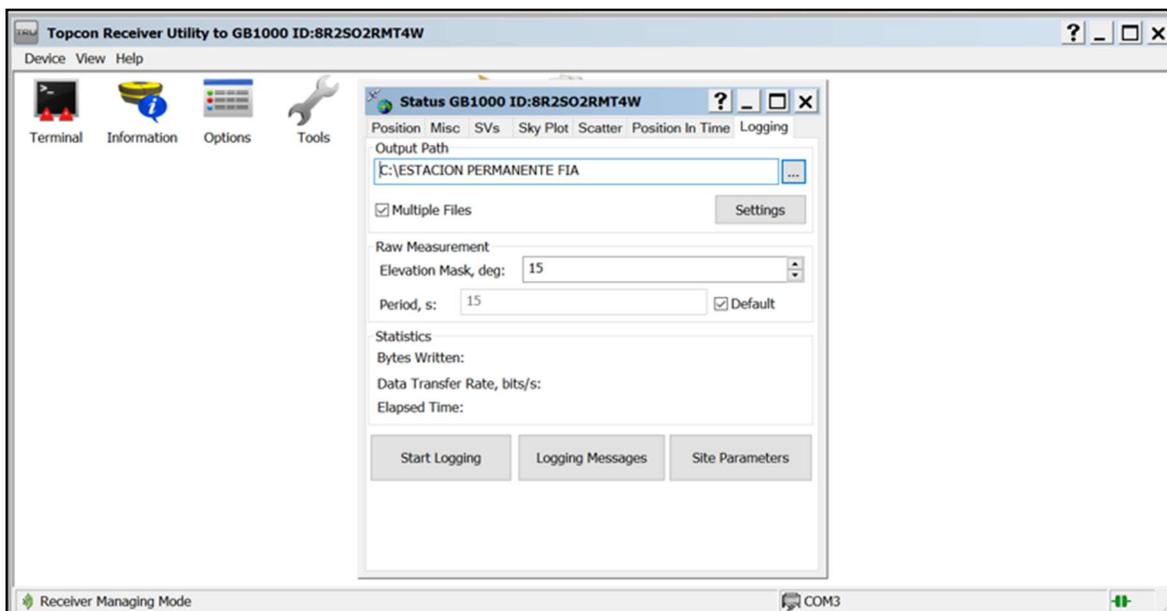
Seleccionamos Setting (configuración) de multiple files (múltiples archivos) y se nos presenta la siguiente ventana, donde configuraremos el prefijo y sufijo para nuestros datos, en el prefijo seleccionamos el nombre de cada documento que anteriormente le colocamos FIA, y en el sufijo seleccionaremos fecha y hora.



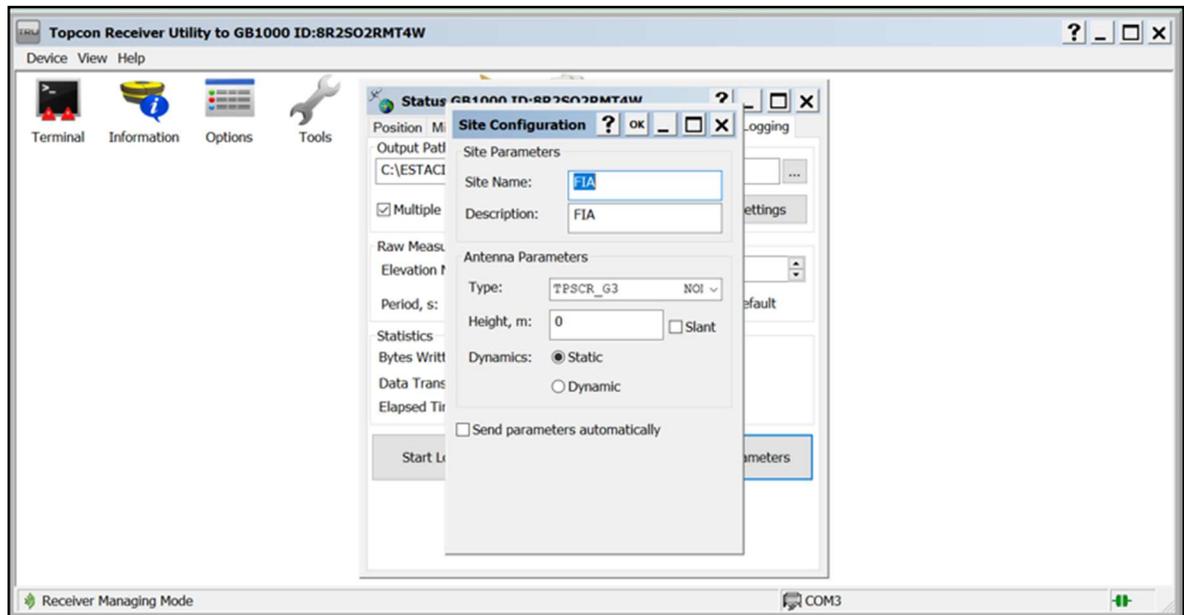
En la misma ventana presentada anteriormente encontramos la opción **New File Every** (nuevo archivo cada) en el que podemos elegir cada cuanto queremos que se obtenga un nuevo documento tomado por la Estación, podemos seleccionar minuto, hora, días como se muestra en la siguiente imagen:



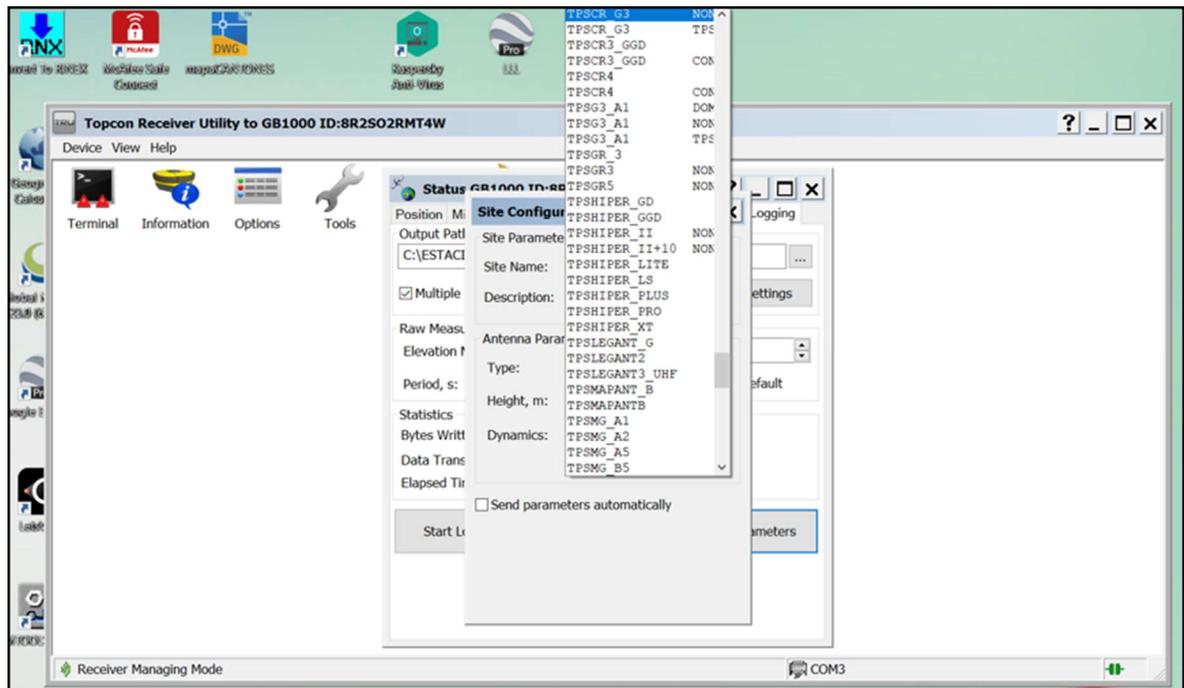
Luego colocamos la máscara de elevación que es de 15 grados al igual que el periodo es de 15 segundos.



Al haber terminado esas configuraciones en la parte inferior derecha de la ventana emergente encontramos un botón llamado Site Parameters (parámetros del sitio), donde al seleccionarlo tenemos la siguiente ventana de configuración:

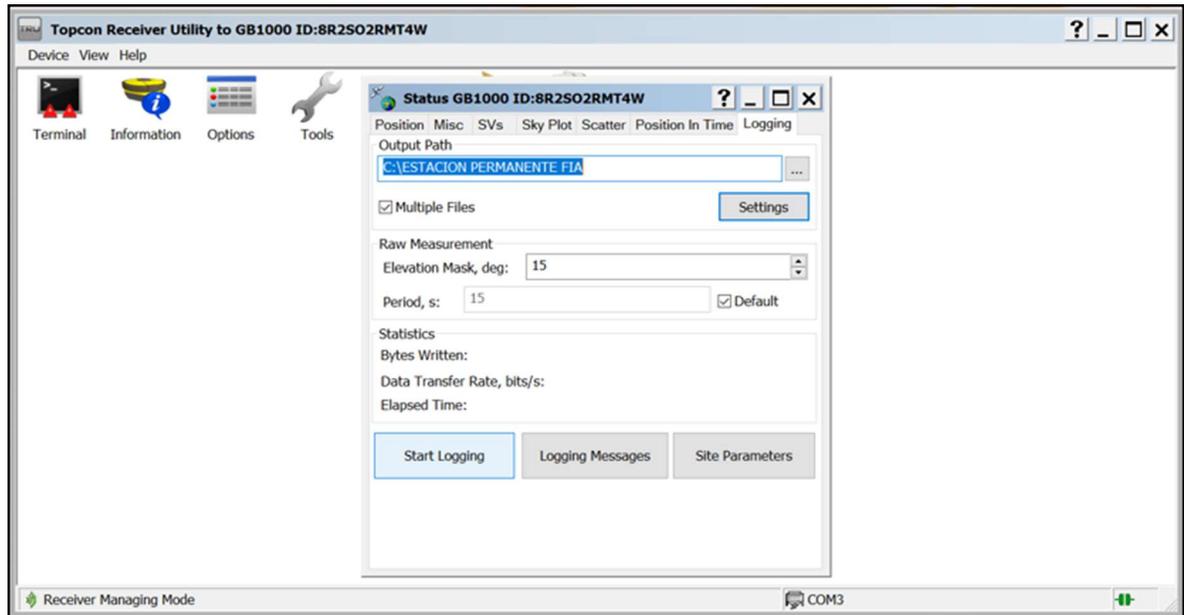


En la ventana de la imagen anterior colocamos el nombre del sitio y la descripción, pero también están los parámetros de la antena que al seleccionarla se nos desplegara una lista de antenas donde debemos seleccionar la que va acorde a nuestra antena que como fue mencionado anteriormente es una **PG-A1**.



Al desplegarse la lista buscaremos el tipo que será **TPSPG_A1**.

Al terminar estas configuraciones estamos listos para seleccionar el botón de **Start Logging (iniciar registro)**.



Al presionar el botón se inicia la toma de datos.

6.8 Descarga y monitoreo de datos crudos

Para poder realizar la descarga de datos crudos se solicitó un correo institucional que fue brindado por la Universidad de El Salvador en la Facultad de ingeniería y Arquitectura, el correo institucional brindado es el siguiente **construcción.civil@ues.edu.sv**.

Al contar con un correo institucional los datos crudos recolectados por la Estación Permanente serán subidos al drive que le pertenece a ese correo permitiendo a todo el que cuente con el enlace del drive y cuente con correo institucional podrá realizar la descarga de los datos recolectados por la Estación

con solo acceder al siguiente enlace <https://drive.google.com/drive/folders/1--D8MxJgsZY81WE-J67aKVoUVbDC8vEW?usp=sharing>.

Si en dado caso no se cuenta con un correo institucional para acceder al drive tendrán que solicitar acceso y esperar que se les permita acceder.

Al ingresar al drive los datos crudos serán vistos de la siguiente manera:

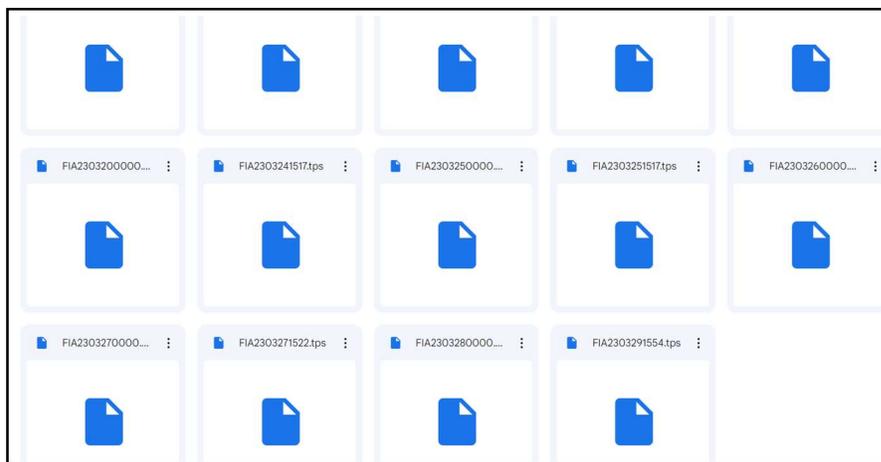


Figura 0.14 Vista de datos crudos en drive.

Fuente: Propia

La descripción del nombre de cada dato indica que los primeros dos dígitos son el año, los siguientes dos son el mes y los siguientes son el día y los últimos indican la hora.

6.8.1 Coordenada de Estación Permanente FIA-UES

Para obtener la coordenada fija de la Estación Permanente se realizó la medición GPS utilizando la técnica estática, en la cual se instalaron dos receptores GPS en dos vértices que conforman la red SIRGAS; Soledad y Panorámico, los datos obtenidos posteriormente fueron descargados y procesados con el software Trimble Total Control.



Figura 0.15 Medición GPS en vértice Soledad.

Fuente: Propia.



Figura 0.16 Medición GPS en vértice Panorámico.

Fuente: Propia

Coordenada fija de Estación Permanente FIA UES:

Latitud: N 13° 43' 15.52981"

Longitud: O 89° 12' 03.84463"

Elevación Elipsoidal: 699.8377 metros.

Posteriormente se obtuvo un informe del Programa **Trimble Total Control**, donde se observan las coordenadas de la Estación permanente **FIA-UES**, coordenadas Cartesianas Geocéntricas y las coordenadas Geográficas SIRGAS-ES2007 (Ver anexo A).

**CAPÍTULO VII CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES**

7.1 Conclusiones

De acuerdo con los objetivos planteados y conforme a los requerimientos de SIRGAS-CON se estableció con éxito la Estación GPS Permanente en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador, logrando su óptimo funcionamiento para la descarga de datos crudos, los datos crudos se almacenarán y actualizarán cada 24 horas en Google Drive por medio del siguiente enlace: <https://drive.google.com/drive/folders/1--D8MxJgsZY81WE-J67aKVoUVbDC8vEW?usp=sharing>; este enlace les permitirá descargar los datos de forma gratuita para ser utilizados en trabajos topográficos y geodésicos; especialmente a los estudiantes de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura que cursan prácticas de topografía, los que optan por la Técnica electiva GPS y estudiantes egresados en el curso de especialización, también tendrán acceso los organismos institucionales de Norte y Suramérica para el cálculo de desplazamiento de coordenadas en las placas tectónicas, posterior a un terremoto.

7.2 Recomendaciones

- Se recomienda mantener la antena de la estación permanente libre de obstáculos, por ejemplo: construcción de edificios, adiciones en tejados, mástiles para antenas, para que la estación no se vea afectada por radio interferencias, superficies reflectivas u otras fuentes de señal reflejada, para que el receptor pueda rastrear al menos diez satélites por encima de 0 grados
- En terrenos inestables, debe considerarse una estructura que garantice la estabilidad, de preferencia que el monumento coincida con una viga, columna y/o pared estructural del edificio.
- Se recomienda que la longitud del cable de conexión antena/receptor, no exceda un máximo 30 metros.
- Los equipos GNSS no deben ser apagados o cambiados a no ser que sea estrictamente necesario por daño, actualización o renovación de estos.
- Se recomienda de manera especial su protección contra interrupciones del fluido y descargas eléctricas de la atmósfera.
- Si no se utiliza una cubierta protectora (radome) para la antena, se recomienda que ésta sea limpiada por lo menos una vez al año. La antena NO debe ser removida para el efecto.

- Se recomienda la instalación de nuevas estaciones permanente para de esa forma llegar al establecimiento de una red GNSS más fiable y de mayor calidad.

Bibliografía

05/08/ GEODESIA EN EL SALVADOR - PDF Descargar libre. (8945, 8 mayo). <https://docplayer.es/8738945-05-08-2007-1-geodesia-en-el-salvador.html>

Ángel Martín Furones Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría Universidad Politécnica de Valencia. (2010, enero). SISTEMA Y MARCO DE REFERENCIA TERRESTRE. SISTEMAS DE COORDENADAS. (s. f.).<http://www.upv.es/unigeo/index/docencia/etsigct/astronomia/teoria/astronomia210.pdf>

Aplicación web para Georreferenciación utilizando servicios de posicionamiento en línea y su aplicación en la Agrimensura1. Sep. 2016 – edición 17. Nov. 2016. (s. f.).

AristaSur. (2020, 15 noviembre). Qué es el Datum de las coordenadas geográficas y su uso en el GPS. AristaSur. <https://www.aristasur.com/contenido/que-es-el-datum-de-las-coordenadas-geograficas-y-su-uso-en-el-gps>

AristaSur. (2021, 24 enero). Sistema de Coordenadas Geográficas: Longitud y Latitud.

AristaSur. <https://www.aristasur.com/contenido/sistema-de-coordenadas-geograficas-longitud-y-latitud>

AristaSur. (2022b, diciembre 19). Sistema de Coordenadas Geográficas: UTM.

AristaSur. <https://www.aristasur.com/contenido/sistema-de-coordenadas-geograficas-utm>

Ayuware. (2022). Coordenadas WGS84: Qué son. Blog de Ayuware.

<https://www.ayuware.es/blog/coordenadas-wgs84/#:~:text=Las%20coordenadas%20WGS84%20se%20trata,ingl%C3%A9s%20World%20Geodetic%20System%201984.>

Calderón, M. M. (2020b, marzo 20). Conceptos geodésicos básicos. Estudios en

Sostenibilidad. <https://www.michaelmoya.com/2020/03/conceptos-geodesicos>

chrome-

<extension://efaidnbmnnnibpcajpcgclefindmkaj/https://www.ineter.gob.ni/documentos/Actualizaci%C3%B3n%20del%20Sistema%20Geod%C3%A9sico%20de%20Nicaragua.pdf>

chrome-

extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.sirgas.org/fileadmin/docs/Boletines/Bol16/Meza_Red_geodesica_Honduras.pdf

colaboradores de Wikipedia. (2022). Sistema de coordenadas universal transversal de Mercator. Wikipedia, la enciclopedia libre.

https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_coordenadas_universal_transversal_de_Mercator

colaboradores de Wikipedia. (2022a). Proyección conforme de Lambert. Wikipedia, la enciclopedia libre.

https://es.wikipedia.org/wiki/Proyecci%C3%B3n_conforme_de_Lambert

Colaboradores de Wikipedia. (2023). Sistema de referencia. Wikipedia, la enciclopedia libre. https://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_referencia

colaboradores de Wikipedia. (2023a). SIRGAS. Wikipedia, la enciclopedia libre. <https://es.wikipedia.org/wiki/SIRGAS>

De Occidente, E. Y. C. (s. f.-b). ECO topografía. ECO topografía.

<https://www.ecomexico.net/>

Del Espía, E. B. (2019, 4 enero). Frecuencias también en los GPS | El blog del espía. El blog del espía. <https://blog.latiendadetectiveydelespia.com/frecuencias-tambien-en-los-gps/>

Foundation CORS | CORS Data Products | CORS | National Geodetic Survey. (s. f.). <https://geodesy.noaa.gov/CORS/foundation-cors.shtml>

FUNDAMENTOS DEL GPS Y APLICACIONES CON NAVEGADORES. (2013). <https://www.eweb.unex.es>. Recuperado 9 de enero de 2023, de <https://www.eweb.unex.es/eweb/exgrafica/Tema14.pdf>

Gale-InstitutionFinder

(s. f.). <https://go.gale.com/ps/i.do?id=GALE%7CA265872196&sid=googleScholar&v=2.1&it=r&linkaccess=abs&issn=00802085&p=IFME&sw=w&userGroupName=anon%7E20350058>

GDGPS: (s. f.). <https://www.gdgps.net/>

glosarios@servidor-alicante.com. (s. f.). Coordinadas planas (Topografía, Geodesia y GPS). Glosarios especializados. <https://glosarios.servidor-alicante.com/topografia-geodesia-gps/coordenadas-planas>

GPS.gov: Aplicaciones. (s. f.). <https://www.gps.gov/applications/spanish.php>

GPS.gov: Control Segment. (s. f.). <https://www.gps.gov/systems/gps/control/>

GPS.gov: Space Segment. (s. f.). <https://www.gps.gov/systems/gps/space/>

Guidelines for Establishing and Operating CORS - National Geodetic Survey. (s. f.).

https://geodesy.noaa.gov/CORS/Establish_Operate_CORS.shtml

Gutiérrez, Juan E. topografía para las Tropas 7ª Edición. Chile, 2005, IGM

Ignacio Alonzo Fernandez- Cooppel, Area de ingeniería Cartográfica, Geodesia y

Fotogrametría, Departamento de Ingeniería Agrícola y Forestal, Escuela técnica superior de ingeniería Agrarias. Palencia. Universidad de Valladolid. (s. f.).

<https://www.aristasur.com/sites/as/users/3/arch/datum-cartografia.pdf/>

J, P. P., & Merino, M. (2021). Coordenada - Qué es, definición y concepto.

Definición.de. <https://definicion.de/coordenada/>

Mequetrefe. (s. f.). De Topografía. <http://detopografia.blogspot.com/>

Moya-Zamora, J. (2017). CONCEPTOS BÁSICOS EN GEODESIA COMO INSUMO PARA UN TRATAMIENTO ADECUADO DE LA INFORMACIÓN GEOESPACIAL. <https://www.redalyc.org/journal/4517/451750038008/html/>

München, D. G. F. D. T. U. (s. f.). Acerca de SIRGAS | SIRGAS Analysis Centre at DGFI-TUM. [https://www.sirgas.org/es/sirgas-definition/#:~:text=SIRGAS%20como%20sistema%20de%20referencia%20se%20define%20id%C3%A9ntico%20al%20Sistema,\(International%20Terrestrial%20Reference%20Frame\).](https://www.sirgas.org/es/sirgas-definition/#:~:text=SIRGAS%20como%20sistema%20de%20referencia%20se%20define%20id%C3%A9ntico%20al%20Sistema,(International%20Terrestrial%20Reference%20Frame).)

NOAA CORS Network - National Geodetic Survey. (s. f.). <https://geodesy.noaa.gov/CORS/>

Nosotros. (s. f.). alfatopografia. <https://www.alfatopografia.com/cors>

Proyección cartográfica - Concepto, propiedades y ejemplos. (s. f.). Concepto. <https://concepto.de/proyeccion-cartografica/>

Ravikumar, A. (2022, 27 abril). Historia de los satélites GPS y el seguimiento por GPS para uso comercial. Geotab. <https://www.geotab.com/es/blog/historia-de-los-satelites->

gps/#::~text=Los%20or%C3%ADgenes%20del%20GPS%20se,comienzo%20de%20la%20carrera%20espacial.

Red Cors :: IGN Guatemala. (s. f.). <https://ignguatemala5.webnode.es/red-cors/#::~text=La%20red%20CORS%20en%20Guatemala,sobre%20todo%20el%20territorio%20nacional>

Silva, N. S. (2013). Red de transporte de datos en formato RTCM, vía protocolo de Internet (Ntrip). Implementación en la región y proyección futura a través de SIRGAS. Dialnet. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8516752>

Wilfredo Amaya Zelaya (2020). GPS APLICADO A PROYECTOS DE INGENIERIA CIVIL: Sistema de posicionamiento global, Universidad de El Salvador. San Salvador, El Salvador.

ANEXOS

Anexo A



Revisión de Coordenadas

www.trimble.com

Copyright (C) 2001 - 2002 by Trimble Navigation Limited.

AJUSTE DE COORDENADAS

VINCULACION A LA RED GEODESICA NACIONAL SIRGAS-ES2007

Nombre del usuario	GRUPO DE TESIS	Fecha y hora	15:30:10 24/4/2023
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 3

1. Información de Punto

Nombre de Punto	Código de Punto	Info. del punto	Cálculo	Ajustado	Local	Control
FIA-UES			No	Si	No	No
PANORAMICO	PR	PR	Si	Si	No	No
SOLEDAD	DEFAULT		Si	Si	No	No

2. WGS84 - Coordenadas Cartesianas Geocéntricas

Nombre de Punto	X	Y	Z
FIA-UES	86421.6164m	-6197364.3129m	1503176.5698m
PANORAMICO	88284.3425m	-6199656.3439m	1495014.3571m
SOLEDAD	83676.5482m	-6199162.4218m	1497221.7144m

3. WGS84 - Coordenadas Geográficas SIRGAS-ES2007

Nombre de Punto	Latitud	Longitud	Elev. Elipsoidal
FIA-UES	N 13° 43' 15.52981"	O 89° 12' 03.84463"	699.8377m
PANORAMICO	N 13° 38' 39.67234"	O 89° 11' 02.94655"	1021.3803m
SOLEDAD	N 13° 39' 53.74039"	O 89° 13' 35.99827"	1000.4590m