

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

METODOLOGÍA PARA LA CONVERSIÓN DE COORDENADAS ENTRE SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO TERRESTRE GLOBAL Y SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO LOCAL (LPS).

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br.
Pereira Lamedada, Ruy José
Para optar por el Título de
Ingeniero Geodesta

Caracas, 2019

TRABAJO ESPECIAL DE GRADO

METODOLOGÍA PARA LA CONVERSIÓN DE COORDENADAS ENTRE SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO TERRESTRE GLOBAL Y SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO LOCAL (LPS).

TUTOR ACADÉMICO: Prof. Douglas Bravo.

Presentado ante la Ilustre
Universidad Central de Venezuela
Por el Br.
Pereira Lamedada, Ruy José
Para optar por el Título de
Ingeniero Geodesta

Caracas, 2019

ACTA

El día 25/06/2019 se reunió el jurado formado por los profesores:

Douglas R. Bravo
Lucy Bolívar
Juan S. Madoado

Con el fin de examinar el Trabajo Especial de Grado titulado: "METODOLOGÍA PARA LA CONVERSIÓN DE COORDENADAS ENTRE SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO TERRESTRE GLOBAL Y SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO LOCAL (LPS)", presentado ante la Ilustre Universidad Central de Venezuela para optar al título de **INGENIERO GEODESTA**.

Una vez oída la defensa oral que el Br. Ruy J. Pereira L. hizo de su Trabajo Especial de Grado, este jurado decidió la siguiente calificación:

NOMBRE Y APELLIDO	CALIFICACIÓN	
	Números	Letras
Ruy J. Pereira L.	20	Veinte

Recomendaciones:

Mención Honorífica

FIRMAS DEL JURADO

Douglas R. Bravo
Lucy Bolívar
Juan S. Madoado

Caracas, 26 junio de 2019

DEDICATORIA

*“Si he visto más lejos es porque estoy
sentado sobre hombros de gigantes” (Isaac Newton).*

Este Trabajo está dedicado a todos esos gigantes
y a la Memoria del Dr. Luis Liberal.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, agradezco a Dios.

A la casa que vence la sombra, mi alma mater, la Universidad Central de Venezuela.

Agradezco al Departamento de Ingeniería Geodésica y Agrimensura (DIGA), el cual es mi segunda casa y desde donde vencemos las sombras.

Agradezco a mi familia, mi madre, padre y hermanos por su apoyo incondicional durante esta etapa, esto no habría sido posible sin ustedes quienes son mi pilar.

A mi novia y colega, Katerine López por su compañía, su apoyo incondicional y sus consejos para este trabajo.

Agradezco a mis tutores Prof. Ing. Douglas Bravo y Profa. Ing. Rosa Benítez, quienes pusieron todo su empeño y conocimiento, en el desarrollo de este trabajo especial de grado, y fueron mis guías durante mi desarrollo profesional.

A todo el personal docente del DIGA por poner cada uno un grano de arena para la formación de profesionales, los cuales representan el futuro de la geodesia y trabajaran en la reconstrucción del país.

A Midian Veroes, quien me dio todo su apoyo y consejos durante mi carrera y es una persona de gran importancia para el DIGA.

A mis compañeros, colegas y amigos, Jorge Muñoz, Nataly Viloría, Carlos García, Emily Abreu, Sergio Infante, Keiver Nuñez, Miguel Ríos, quienes siempre han estado presentes aun desde la distancia y con quien tengo gratos recuerdos.

A Helvin Muñiz, Rafael Salazar y Angélica Martínez, amigos con los cuales viví momentos y experiencias inolvidables.

A todas las personas que hacen vida en el DIGA quienes pusieron su grano de arena en este trabajo y a pesar de las circunstancias siguen poniendo su empeño en crecer como excelentes profesionales.

A la empresa Amundaray Instrumentos Geotécnicos, y a todo su personal Ing. José Luis Oliver, Ing. Edwin Gómez, Ing. Luis López, Lcdo. Ricardo Pereira, Lcdo. Fidel Friend, por haber colaborado con el equipo de adquisición de datos, software de procesamiento y sus instalaciones para la elaboración de este trabajo.

Gracias Totales...

Pereira L, Ruy J.

**METODOLOGÍA PARA LA CONVERSIÓN DE COORDENADAS
ENTRE SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO TERRESTRE GLOBAL
Y SISTEMAS DE POSICIONAMIENTO LOCAL (LPS).**

Tutor Académico: Prof. Douglas Bravo.

Trabajo Especial de Grado. Caracas, UCV Facultad de Ingeniería.

Escuela de Ingeniería Civil. Departamento de Ingeniería Geodésica y Agrimensura.

Año 2019

Palabras Claves: GNSS, Sistema Local, Conversión de Coordenadas.

Resumen: La llegada de la tecnología Sistema de Posicionamiento Global (por sus siglas en inglés GPS) y posteriormente del GNSS (Sistemas Globales de Navegación por Satélite), representó un gran avance para la geodesia ocasionando la sustitución de métodos tradicionales de adquisición de datos y de materialización de redes geodésicas para el establecimiento de un marco de referencia para el control y ejecución de obras de ingeniería, levantamientos topográficos y levantamiento catastrales, actividades en las cuales la determinación de coordenadas a partir de GNSS, sin tener resuelta la vinculación de las mediciones ejecutando técnicas espaciales con las mediciones directas en campo ejecutando técnicas tradicionales y la posterior conversión de las coordenadas a un sistema de coordenadas cartográficas genera deformaciones en distancia, lo que resulta en la variación del área y las distancias planas respecto a su valor verdadero. En el siguiente trabajo se realiza una propuesta metodológica para la conversión de coordenadas entre el Sistema Terrestre Global y Sistemas Locales de Posicionamiento, garantizando su exactitud y siendo reversible. La metodología planteada fue validada utilizando coordenadas fijas de la Red Geodésica de Santa María, estado Río Grande do Sul, en Brasil, la cual cuenta con un plano topográfico local definido para actividades catastrales y de ingeniería, resultado un sigma (σ) en la coordenada Este de $\pm 0,0005$ m y Norte de $\pm 0,0003$ m, además se comparó con mediciones de distancias realizadas con estación total en los años 1993 y 2014

obteniendo sigmas de $\pm 0,008$ m y $\pm 0,031$ m respectivamente, garantizando estos resultados la articulación con mediciones ejecutadas con técnicas clásicas. Además, se plantea como una solución para la recuperación de la cartografía nacional para escalas hasta 1:1000, estando los resultados obtenidos de la evaluación de 3 productos cartográficos elaborados para la misma escala en los años 1954, 1975 y 1992, encontrándose los resultados de la evaluación dentro de la tolerancia de 0,54 m la cual fue definida en este trabajo para productos en dicha escala.

ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I	3
FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.1. Planteamiento del Problema	3
1.2. Justificación	6
1.3. Marco Referencial	8
1.4. Objetivos.....	12
1.4.1. Objetivo General	12
1.4.2. Objetivos Específicos	12
1.5. Alcance	13
CAPITULO II	14
MARCO TEÓRICO	14
2.1. Geodesia Moderna.....	14
2.2. Superficies de Referencia	14
2.2.1. Elipsoide	14
2.2.2. Geoide.....	16
2.2.3. Datum	16
2.3. Sistemas de Referencia Globales.....	16
2.3.1. Global Reference System 1980 (GRS-80).....	16
2.3.2. World Geodetic System 1984 (WGS-84).....	17
2.3.3. Parametry Zemli 1990 (PZ-90)	17
2.3.4. Galileo Terrestrial Reference Frame (GTRF)	18
2.3.5. China Geodetic Coordinate System 2000 (CGCS2000)	18
2.4. Datum Geodésico Estático	19
2.5. Datum Semicinemático.....	19
2.6. Sistemas y Marcos de Referencia Convencionales	20
2.7. El Sistema Geodésico de Observación Global (GGOS).....	20
2.8. Marco de Referencia Geodésico Convencional.....	21
2.9. El Sistema Internacional de Referencia Terrestre (ITRS).....	22
2.10. Marco de Referencia IGS	22
2.11. Marco Internacional de Referencia Terrestre (ITRF).....	23
2.11.1. Soluciones ITRF.....	23
2.12. Marco de Referencia Continental	25

2.12.1.	Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas (SIRGAS)	25
2.13.	Marco de Referencia Nacional	26
2.13.1.	Red Geocéntrica Venezolana.....	26
2.13.1.1.	Campaña 1995, ITRF94 Época 1995,4	26
2.13.1.2.	Campaña 2000, ITRF2000 Época 2000,4	27
2.14.	Sistema de Coordenadas	28
2.14.1.	Clasificación de los Sistemas de Coordenadas.....	29
2.14.2.	Sistemas de Coordenadas Terrestre Globales.....	29
2.14.2.1.	Sistema de Coordenadas Terrestre Geocéntrico	29
2.14.2.2.	Sistema de Coordenadas Geodésicas.....	29
2.14.3.	Sistema de Coordenadas Locales o Sistemas de Posicionamiento Local.....	30
2.14.3.1.	Sistema de Coordenadas Terrestre Topocéntrico	30
2.14.3.2.	Datum Loma Quintana	31
2.14.3.3.	Sistema de Coordenadas Locales	31
2.15.	Ecuaciones de Conversión de Coordenadas	32
2.15.1.	Conversión de Sistema de Coordenadas Geocéntrico a Sistema de Coordenadas Locales.....	32
2.15.1.1.	Conversión de Sistema de Coordenadas Geocéntrico a Sistema de Coordenadas Locales.....	33
2.15.2.	Ecuaciones de Conversión Geocéntricas – Topocéntricas	35
2.16.	Sistema de Coordenadas Celestes.....	35
2.17.	Sistema de Coordenadas Proyectadas o Cartográficas	36
2.18.	Sistema Global de Navegación por Satélite	37
2.18.1.	Global Navigation Satellite System (GNSS).....	37
2.18.2.	Segmento Espacial.....	39
2.18.2.1.	Constelaciones	39
2.18.2.1.1.	Global Positioning System (GPS)	39
2.18.2.1.2.	Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema (GLONASS) ..	40
2.18.2.1.3.	Sistema de Navegación por Satélite Europeo Galileo	41
2.18.2.1.4.	Beidou/Compass.....	42
2.18.3.	Segmento Usuario	43
2.18.3.1.	Clasificación de Receptores GNSS Según su Aplicación	43
2.18.3.1.1.	Navegador.....	44
2.18.3.1.2.	Receptores Métricos	44
2.18.3.1.3.	Receptores Submétricos	44
2.18.3.1.4.	Receptores Monofrecuencia de Código y Fase	45
2.18.3.1.5.	Receptores Doble Frecuencia	45
2.18.3.2.	Tratamiento de los Datos	46
2.18.3.2.1.	RINEX	46

2.18.3.2.2. Teqc UNAVCO	47
2.18.3.3. Observables GPS	48
2.18.3.4. Medida de Distancias desde los Satélites	48
2.18.3.4.1. Medida de Pseudodistancias.....	48
2.18.3.4.2. Ecuación de Posicionamiento por Código.....	49
2.18.3.4.3. Medida de Fase.....	50
2.18.3.5. Combinación de Observables	51
2.18.3.6. Errores que Afectan la Adquisición de Datos con Receptores GNSS	52
2.18.3.6.1. Errores del Satélite	52
2.18.3.6.2. Errores Relativos a la Propagación de la Señal	53
2.18.3.6.3. Errores relativos al receptor.....	54
2.18.3.7. Métodos de Posicionamiento.....	56
2.18.3.7.1. Posicionamiento Absoluto.....	56
2.18.3.7.2. Método Diferencial.....	56
2.18.3.7.3. Método Estático.....	56
2.18.3.7.4. Método Cinemático	57
2.18.3.7.5. Determinación de Alturas con GNSS.....	58
2.18.3.8. Software de Procesamiento de Datos GNSS	59
2.18.3.8.1. SOKKIA Spectrum Survey Office	59
2.18.3.8.2. RTKLIB.....	59
2.18.3.8.3. gLAB GNSS Analysis Tool	60
2.18.3.9. Servicios de Procesamiento en Línea de Señales GNSS.....	61
2.18.3.9.1. AUSPOS.....	61
2.18.3.9.2. Canadian Geodetic Survey of Natural Resources Canada CSRS.....	62
2.19. Modelo Vemos 2015	62
2.20. Redes Geodésicas	63
2.20.1. Red Geodésica Clásica	63
2.20.2. Red Geodésica Horizontal	63
2.20.2.1. Red de Triangulación	63
2.20.2.2. Red de Trilateración	64
2.20.2.3. Red de Triangulateración.....	64
2.20.2.4. Redes Híbridas.....	64
2.20.2.5. Red Geodésica Moderna.....	64
2.21. Software de Ajuste de Redes Geodésicas.....	64
2.21.1. JAG3D.....	64
2.21.2. Columbus 3.8.....	65
CAPITULO III	66

MARCO METODOLÓGICO.....	66
3.1. Diseño y Modalidad de la Investigación	66
3.2. Esquema Metodológico	68
3.3. Definición de la Metodología.....	69
3.3.1. Recopilación de Material Bibliográfico	69
3.3.2. Selección del Método de Conversión	69
3.4. Esquema de Conversión de Coordenadas.....	71
3.5. Validación del Método Seleccionado	72
3.6. Desarrollo de Aplicación Digital para la Conversión de Coordenadas de Sistema Terrestre Global a un Sistema Local de Posicionamiento (LPS) y Viceversa.	78
3.7. Selección del Marco de Referencia	81
3.7.1. Marco de Referencia Global.....	81
3.7.2. Marco de Referencia Continental.....	81
3.7.3. Marco de Referencia Nacional	82
3.8. Selección del Sistema de Coordenadas	85
3.9. Área de Estudio	85
3.9.1. Descripción.....	85
3.9.2. Reconocimiento de Campo.....	87
3.10. Medición GNSS.....	87
3.10.1. Planificación.....	87
3.10.1.1. Sistema de Referencia, Marco de Referencia y Sistema de Coordenadas	87
3.10.1.2. Modo de Medición, Observables y Exactitudes	88
3.10.1.3. Tiempo de Medición, Tasa de Captura, Hora de Medición.....	88
3.10.1.4. Selección de los Vértices.....	89
3.10.1.5. Equipos	90
3.10.1.5.1. Receptor Sokkia GRX-1	91
3.10.1.5.2. Receptor Trimble 5700.....	92
3.10.1.6. Generación, Adecuación y QC de archivos RINEX.....	92
3.10.1.7. Post-Proceso de Mediciones GNSS.....	96
3.11. Cálculo y Ajuste de Coordenadas Locales	102
3.12. Vinculación con Productos Cartográficos en Escalas Grandes con el Marco de Referencia Nacional	104
 CAPITULO IV.....	 108
 RESULTADOS Y ANÁLISIS	 108
4.1. Validación del Método Seleccionado	108
4.1.1. Red Municipal de Santa María, Estado Rio Grande do Sul, Brasil...108	

4.1.1.1. Análisis de Resultados.....	110
4.1.2. “Test of Network Stuttgart Central”	111
4.1.2.1. Análisis de Resultados.....	113
4.1.3. Red Geodésico-Topográfica UCV.....	113
4.1.3.1. Análisis de Resultados.....	116
4.2. Cálculo de coordenadas vértice G-2.....	116
4.3. Cálculo Coordenadas Estación REMOS CRCS	117
4.3.1. Análisis de Resultados.....	121
4.4. Coordenadas Vértices BIO y Estructural	121
4.5. Cálculo de las Coordenadas Locales	123
4.5.1. Análisis de Resultados.....	125
4.6. Vinculación de Productos Cartográficos en Escalas Grandes con el Marco de Referencia Nacional	125
4.6.1. Plano Instituto Ciudad Universitaria Año 1952	125
4.6.2. Plano Generado en el Marco del Plan Caracas, año 1975	126
4.6.3. Plano Generado en el Año 1992 por el Departamento de Ingeniería Geodésica y Agrimensura-UCV	127
4.6.4. Análisis de resultados	128
CAPÍTULO V	129
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	129
5.1. Conclusiones.....	129
5.2. Recomendaciones	132
REFERENCIAS BIBLOGRÁFICAS	133
APÉNDICE	139
Apéndice 1. Informe de Procesamiento de Datos con SOKKIA Spectrum Survey Office V8.3.....	139
Apéndice 2. Cálculo de Coordenadas Red de Caracas.	142
Apéndice 3. Informe de Ajuste JAG 3D.	145
Apéndice 4. Informe Combinación Columbus 3.8.....	150

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros GPS.....	40
Tabla 2.Parámetros GLONASS.....	41
Tabla 3. Parámetros GALILEO.....	42
Tabla 4. Parámetros Beidou.	42
Tabla 5. Clasificación Receptores GNSS.	43
Tabla 6. Fuentes de Error en GNSS.	55
Tabla 7.Criterios y Evaluación por Método.	70
Tabla 8.Puntaje para cada Parámetro de Evaluación.....	70
Tabla 9.Matriz de Decisión.	71
Tabla 10. Diferencias Coordenadas Fijas de la Red - Coordenadas Convertidas con el Método Seleccionado.	73
Tabla 11. Diferencias entre la Distancia Obtenida por Coordenadas - Distancia Plana.	76
Tabla 12. Comparación de Distancias desde Economía.....	77
Tabla 13.Comparación de Distancia Clínico-Hidrometeorología.....	77
Tabla 14.Comparación de Distancias Estructural-Hidrometeorología.....	77
Tabla 15. Coordenadas Locales Calculadas.	103
Tabla 16. Diferencias entre las Coordenadas Calculadas y las Coordenadas de la Cuadrícula del Plano de 1952 Elaborado por el Instituto Ciudad Universitaria.	105
Tabla 17.Diferencias entre las Coordenadas Calculadas y las Coordenadas de la Cuadrícula del Plano de 1975 en el Marco del Plan Caracas.....	106
Tabla 18.Diferencias entre las Coordenadas Calculadas y las Coordenadas de la Cuadrícula del Plano 1992 Elaborado por el Departamento de Ingeniería Geodésica y Agrimensura-UCV.....	107
Tabla 19.Coordenadas Geodésicas Fijas de los Vértices de la Red Municipal del Municipio Santa María, Estado de Rio Grande do Sul, Brasil.....	108
Tabla 20. Coordenadas Locales Fijas de los Vértices de la Red Municipal del Municipio Santa María, Estado de Rio Grande do Sul, Brasil.....	109
Tabla 21.Diferencias entre Coordenadas Locales Convertidas - Coordenadas Locales Fijas.	109
Tabla 22. Desviación Estándar de la Conversión de Coordenadas.	110
Tabla 23. Resultados Obtenidos en el Trabajo (Vargas G, 2013).	110
Tabla 24.Coordenadas Geocéntricas Vértices Red Central de Stuttgart.	111
Tabla 25.Coordenadas Geodésicas Vértices Red Central de Stuttgart.	112
Tabla 26.Diferencias entre Distancia Calculada a partir de las Coordenadas y la Distancia Plana.	112
Tabla 27.Desviación Estándar de la Comparación de Distancias.	113
Tabla 28. Coordenadas Geodésicas Red GPS UCV.....	114

Tabla 29. Diferencias entre las Coordenadas de la Tesis (Echerzuria S, Rivas, & Sira L, 1993) y las Coordenadas Locales Calculadas.....	114
Tabla 30.Comparación de Distancias desde Economía.....	115
Tabla 31.Comparación de Distancia Clínico - Hidrometeorología.	115
Tabla 32.Comparación de Distancia Estructural - Hidrometeorología.	115
Tabla 33.Desviación Estándar de las Distancias.	115
Tabla 34. Coordenadas Geodésicas Calculadas Vértice G-2.	117
Tabla 35.Coordenadas Geocéntricas de la Estación REMOS CRCS Calculadas con Distintas Técnicas.....	118
Tabla 36. Diferencias entre las Coordenadas Calculadas desde G-2 y las Obtenidas con Distintas Técnicas.....	118
Tabla 37.Coordenadas Geodésicas de la Estación REMOS CRCS Calculadas con Distintas Técnicas.....	119
Tabla 38. Diferencias entre las Coordenadas Calculadas desde G-2 y las Obtenidas con Distintas Técnicas.....	120
Tabla 39.Coordenadas Geodésicas Referidas al ITRF14 Época 2018,4684 de los Vértices BIO y ESTRUC, Calculadas con Spectrum Survey Office.....	122
Tabla 40.Coordenadas Geocéntricas Referidas al ITRF14 Época 2018.4684 de los Vértices BIO y ESTRUC, Calculadas con Spectrum Survey Office.....	122
Tabla 41.Coordenadas Geodésicas Referidas al ITRF94 Época 1995,4 de los Vértices BIO y ESTRUC.....	123
Tabla 42.Coordenadas Geocéntricas Referidas al ITRF94 Época 1995,4 de los Vértices BIO y ESTRUC.....	123
Tabla 43. Coordenadas Locales Calculadas con el Ajuste Realizado en JAG-3D.....	123
Tabla 44.Comparación de Distancias Medidas con Estación Total - Distancias Calculadas con Coordenadas.	124
Tabla 45. Desviación Estándar de la Comparación de Distancias Medidas con Estación Total – Distancias Calculadas por Coordenadas.	125
Tabla 46.Diferencias entre las Coordenadas Calculadas y las Coordenadas de la Cuadrícula del Plano de 1952 Elaborado por el Instituto Ciudad Universitaria.	125
Tabla 47. Desviación Estándar de las Diferencias entre las Coordenadas Calculadas y las Coordenadas de la Cuadrícula del Plano de 1952 Elaborado por el Instituto Ciudad Universitaria.	126
Tabla 48. Diferencias entre las Coordenadas Calculadas y las Coordenadas de la Cuadrícula del Plano de 1975 Elaborado en el Marco del Plan Caracas.	126
Tabla 49. Desviación Estándar de las Diferencias entre las Coordenadas Calculadas y las Coordenadas de la Cuadrícula del Plano de 1975 Elaborado en el Marco del Plan Caracas.	126

Tabla 50.Diferencias entre las Coordenadas Calculadas y las Coordenadas de la Cuadrícula del Plano 1992 Elaborado por el Departamento de Ingeniería Geodésica y Agrimensura-UCV.....	127
Tabla 51.Desviación Estándar de las Diferencias entre las Coordenadas Calculadas y las Coordenadas de la Cuadrícula del Plano de 1992 Elaborado por el Departamento de Ingeniería Geodésica y Agrimensura-UCV.....	127

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Parámetros del Elipsoide.....	15
Figura 2.Coordenadas Geodésicas.....	15
Figura 3.Jerarquización Marcos de Referencia Terrestre.....	21
Figura 4.Mapa de Estaciones REGVEN 1995.....	27
Figura 5.Mapa de Estaciones REGVEN 2000.....	28
Figura 6.Sistemas de Coordenadas Geodésicas.....	30
Figura 7. Enfoque Moderno Sistema de Coordenadas Locales.....	32
Figura 8. Coordenadas Locales.....	33
Figura 9.Coordenadas Topocéntricas.....	34
Figura 10. Plano Topográfico Local.....	35
Figura 11.Receptor Sokkia GRX-1.....	43
Figura 12. Posicionamiento Absoluto por Código y Fase.....	51
Figura 13.Posicionamiento Modalidad Estático Relativo.....	51
Figura 14.Error Multipath.....	54
Figura 15.Errores que Afectan el Posicionamiento con GNSS.....	55
Figura 16. Esquema Metodológico.....	68
Figura 17. Esquema de Conversión de Coordenadas.....	72
Figura 18. Red Municipal de Santa María, Municipio Rio Grande do Sul.....	74
Figura 19.Monografía de Vértice Origen PMSM-M17.....	75
Figura 20. Red Stuttgart Central.....	76
Figura 21. Red Geodésico - Topográfica de la UCV.....	78
Figura 22. Ventana Principal GeoLocalConvert.....	79
Figura 23.Menú de Selección de Conversión de Coordenadas.....	79
Figura 24.Ventana Conversión Geodésicas - Locales.....	80
Figura 25.Ventana Conversión Locales-Geodésicas.....	81
Figura 26.Ventana Principal ITRFTrans.....	83
Figura 27. Menú de Selección de Transformación.....	83
Figura 28.Ventana Transformación Seleccionada.....	84
Figura 29.Ventana Velinter.....	84
Figura 30.Archivo de Salida Velinter.....	85

Figura 31. Ortofoto Ciudad Universitaria de Caracas.	86
Figura 32. Captura de Pantalla Aplicación WEB GNSS View.	89
Figura 33. Planificación Levantamiento GNSS.	90
Figura 34. Vértices Ubicados en la UCV.	90
Figura 35. Receptor SOKKIA GRX-1.	91
Figura 36. Rendimiento Según el Método de Adquisición de Datos, Receptor SOKKIA GRX-1.	91
Figura 37. Receptor Trimble 5700.	92
Figura 38. Rendimiento del Receptor Según el Método de Adquisición de Datos.	92
Figura 39. Archivo RINEX Generado con la Aplicación Teqc.	93
Figura 40. Ejemplo de Informe Generado con la Aplicación TEQC.	93
Figura 41. Archivo RINEX Trimble.	94
Figura 42. Coordenada de la Estación REMOS CRCS.	94
Figura 43. Coordenada Estación REMOS CRCS ITRF94, Época 1995,4.	95
Figura 44. Estaciones Seleccionadas para el Cálculo de Líneas Independientes con la Aplicación RTK-LIB.	96
Figura 45. Creación del Proyecto Software SOKKIA SpectrumSurveyOffice.	97
Figura 46. Ventana Emergente Opciones de Proceso.	97
Figura 47. Ventana Emergente de Selección de la Ruta de Archivos.	98
Figura 48. Selección de Modelo e Ingreso de Altura de Antena.	98
Figura 49. Ventana Escrutinio de Observaciones.	99
Figura 50. Ventana Nombre y Tipo de Punto.	99
Figura 51. Ventana de Ingreso de Coordenadas Fijas.	100
Figura 52. Propiedades de Puntos.	100
Figura 53. Vista Layout Puntos Cargados y Líneas Generadas.	100
Figura 54. Ventana Emergente Selección de Ruta de Archivos de Efemérides.	101
Figura 55. Layout Líneas Bases ajustada.	101
Figura 56. Layout Red Ajustada.	102
Figura 57. Red Ajustada con JAG-3D.	103
Figura 58. Plano Escala 1:1000 Ciudad Universitaria de Caracas 1952.	105
Figura 59. Plano Escala 1:1000 de Ciudad Universitaria de Caracas Elaborado en el Marco del Plan Caracas.	106
Figura 60. Plano Escala 1:1000 de Ciudad Universitaria de Caracas Generado por DIGA a Solicitud de COPRED.	107
Figura 61. Red GPS UCV.	114

INTRODUCCIÓN

De la necesidad del hombre de dividir la tierra y representar la superficie y los objetos situados en ella, nacen los primeros sistemas de referencia y las primeras proyecciones cartográficas, apoyados en el sistema de coordenadas cartesianas desarrollado por el filósofo y matemático francés Rene Descartes (1596 - 1650), quien fue uno de los primeros en tomar un “punto de partida” y trazar dos rectas perpendiculares por dicho punto y así definir un punto denominado “origen de coordenadas” del sistema.

En el siglo XVII la geodesia entra en una nueva era cuando el holandés Willebrord Snellius (1580 -1626), desarrolla la triangulación para el levantamiento de grandes áreas, y con ello inicia el desarrollo de las primeras redes geodésicas, y con esto los primeros sistemas locales de referencia.

En nuestro país no fue hasta el siglo XX cuando se desarrolla el primer sistema de referencia local y nace en el año 1911 el datum Loma Quintana, siendo este el punto de origen de una red de triangulación que abarca gran parte del actual Distrito Capital y cuyo origen está ubicado en el observatorio Cajigal en la parroquia 23 de enero en Caracas.

Una vez se descubre el primer pozo petrolero en nuestro país (1914), con la llegada de empresas petroleras provenientes de países con una larga tradición en la ejecución de estudios geodésicos, se inicia la implantación de distintos sistemas locales de referencia en las regiones petroleras, ejemplo de ello son los sistemas definidos en el estado Zulia, la familia sistema Maracaibo compuesta por, sistema Lago de Maracaibo (1945-1981), sistema Cruz de Morillo (1917-1983), sistema iglesia de Altagracia (1920-1951), sistema Alto Estuque (1957), sistema Bloque B (1953-1954), sistema Boca Grita, sistema El Cubo (1916-1961), sistema Mene Grande (1914-1982), entre otros. Esto significó un gran avance para la geodesia en nuestro país, ya que se empezaba a satisfacer la necesidad de posicionamiento preciso no solo en la industria petrolera, sino también en las grandes obras de ingeniería desarrolladas en la época. Las inconsistencias comenzaron a presentarse cuando se intentan implementar los sistemas locales para uso nacional, ejemplo de ello es la densificación de vértices en el estado Barinas del sistema Catedral con origen en la Catedral

de Maracaibo, estado Zulia. Con esto surge la necesidad de desarrollar un sistema regional que pueda ser utilizado como Datum nacional.

Para 1949 la Dirección de Cartografía Nacional (DCN) inició las jornadas de levantamientos gravimétricos con el fin de establecer un punto de origen para el Datum Sudamericano, estableciendo así el Datum Geodésico La Canoa. Ya en 1955 en la VII reunión del Instituto Panamericano de Geografía e Historia, se recomienda la adopción del Datum La Canoa (PSAD56) no sólo para Venezuela sino para toda Suramérica. Desde este momento inician las mediciones para el establecimiento de la Red Geodésica Clásica de Primer Orden con origen en La Canoa. Determinándose posteriormente el Datum Suramericano de 1969 (SAD69) por la Dra. Irene Fisher, como propuesta de sustitución del vértice La Canoa como punto fundamental. Este no fue adoptado por nuestro país.

En abril de 1995, la constelación NAVSTAR GPS logra el estatus de “Capacidad Operacional Total”, lo que cambió para siempre la manera como se ejecutaban distintas actividades geodésicas, las cuales, con la tecnología emergente del GPS y su capacidad de georreferenciación, podían obtener resultados más rápidos y con un menor costo operacional, lo que trajo consigo que se comenzaran a utilizar sistemas globales de referencia en actividades relacionadas a la topografía, cartografía y catastro, trasladando un sistema Geodésico Global a un Sistema Local con los problemas que esto acarrea.

En el presente trabajo especial de grado se realizó una evaluación para determinar los problemas presentes en la conversión de coordenadas entre sistemas terrestres globales y sistemas locales y viceversa, utilizando los sistemas globales para levantamientos geodésicos y los sistemas locales para obras de ingeniería y catastro, se estimó que deberían aparecer inconsistencias en la correlación de datos en distintos sistemas de referencia, los cuales generan que las exactitudes que se pueden obtener con los sistemas globales no cumplan con los requerimientos en obras de ingeniería y catastro. Por ello se presentó una propuesta metodológica que permita la conversión de coordenadas entre ambos sistemas, reversible, con mínimas desviaciones y alta confiabilidad.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del Problema

En nuestro país, la materialización de puntos de referencia para labores topográficas es realizada mediante técnicas geodésicas y representados en una proyección cartográfica (Universal Transversal de Mercator “UTM”), lo que genera inconsistencias en la integración con datos de topografía debido a que no está resuelta la articulación de las coordenadas en un sistema terrestre global y un sistema local de posicionamiento, lo que produce que las exactitudes de los levantamientos, replanteo y control topográfico no cumplan con los estándares requeridos en el diseño y desarrollo de obras de ingeniería, ni en los levantamientos catastrales.

La carencia de una metodología para articular sistemas terrestres globales de referencia con los sistemas locales utilizados en topografía ha generado que el gremio de topógrafos y profesionales afines al área de topografía, no cuenten con herramientas que les permita solventar los distintos inconvenientes que surgen por esta problemática, lo que ocasiona desviaciones en la ejecución de levantamiento topográficos, mediciones de poligonales de control, replanteos topográficos y distintas labores asociadas al catastro, las cuales no están siendo corregidas.

A esta necesidad se suman distintos entes privados, gubernamentales y la comunidad de profesionales afines a la geodesia, que se desempeñan en el área de fotogrametría, y en la actualidad se encuentran trabajando en la generación de productos (ortofotos de alta resolución, modelos digitales de elevación y superficie), a partir de imágenes adquiridas con cámaras métricas de gama alta y desde un vehículo aéreo no tripulado (VANT), los cuales son generados en escalas mayores a 1:5000 y aplicados a la actualización de planos catastrales y generación de planos de diseño en las etapas de ingeniería básica e ingeniería de detalles, siendo estos georreferenciados en un sistema terrestre global o en la mayoría de los casos utilizando la proyección cartográfica UTM, lo

que genera inconsistencias en la medición de áreas en el caso del catastro y en las labores de replanteo en el caso de obras de ingeniería.

Adicionalmente, la necesidad de integrar los datos de los sistemas locales con datos obtenidos con sistema terrestres globales para Sistemas de Información Geográfica (SIG), como es el caso de la cartografía catastral de Caracas, la cual es gestionada por las distintas alcaldías que componen el Distrito Capital, que se encuentra en el sistema local Loma Quintana y la cartografía básica se encuentra en PSAD56 y REGVEN.

En consecuencia, surge la necesidad de desarrollar una metodología para integrar datos geodésicos y datos topográficos, que permitan el diseño y materialización de sistemas locales de posicionamiento (LPS) a partir de coordenadas geodésicas, que no se vea afectada por las diferencias de elevaciones, cuyo radio máximo sea mayor a 25 km y permita establecer relaciones confiables de las coordenadas con el sistema de referencia nacional (REGVEN), dando de esta manera cumplimiento a las exactitudes requeridas en el diseño y ejecución de obras de ingeniería, y catastro, y las necesidades de georreferenciación geodésica de la agencia cartográfica nacional y organismos que así lo requieran.

La búsqueda de una metodología que permita la relación de datos entre sistemas geodésicos y sistemas locales confiables, es una iniciativa mundial y distintos países entre ellos Suiza, Colombia, Brasil, Grecia y Países Africanos; han desarrollado distintas soluciones y normativas, que permitan solventar el problema que genera utilizar sistemas globales como referencia en obras de ingeniería, catastro y viceversa.

El desarrollo de esta metodología permitió la obtención de una herramienta para la conversión de coordenadas en un Sistema de Referencia Terrestre Global a un Sistema Local de Posicionamiento (LPS), reversible, en la cual las diferencias de elevaciones no afectan su exactitud, con un radio de acción 50 km y asegurando la calidad de la misma, permitiendo esto aprovechar la capacidad de georreferenciación que poseen los sistemas globales de navegación por satélite (por sus siglas en inglés GNSS), la gama de productos generados a partir de dispositivos VANT, y las tecnologías geodésicas emergentes, para su uso en la adquisición de datos en levantamientos topográficos, mediciones de poligonales de control y replanteos topográficos, mientras se cumplen con las normas y regulaciones

nacionales (PDVSA P. d., 2017) y con las exactitudes requeridas en obras de ingeniería y catastro. Y permitir el uso de las coordenadas locales en la generación de SIG con información geodésica y cartográfica.

1.2. Justificación

Las observaciones geodésicas en nuestro país, se realizaron por primera vez en La Guaira por Humboldt en 1800 y más tarde por el jefe de escuadrón español, Don José Espinoza en 1809. La comisión del plano Militar fue fundada en 1904. Las primeras mediciones geodésicas rigurosas fueron iniciadas por el ejército en 1911 en apoyo del proyecto de construcción del ferrocarril entre Caracas y La Guaira. El punto de origen para este primer sistema se estableció en la meseta de la ciudad de Caracas, debajo del observatorio Cajigal del ejército, probablemente para medir la línea base inicial. Las observaciones iniciales en Cajigal comenzaron en 1905, seguidas el año siguiente entre enero y marzo, por el Dr. Luis Ugueto y el Dr. Felipe Aguerrevere, quienes determinaron la latitud mediante el método de Talcott (desarrollado por el Capitán Talcott del Cuerpo de Ingenieros del Ejército de EE. UU.). Las coordenadas del origen del datum Loma Quintana son, $\phi_0 = 10^\circ 30' 24,680''$ Norte, $\lambda_0 = -66^\circ 56' 02,512''$ Oeste y $H_0 = 1077,54$ m sobre el nivel del mar. (Mugnier, 2000).

Para el primer quinquenio de los 80, con la adopción del Datum La Canoa (PSAD56) se inicia la migración de toda la información geoespacial existente en coordenadas locales planas a un sistema cartográfico Universal Transversal de Mercator (UTM) referidas al Datum La Canoa (PSAD56), lo que trajo consigo el reemplazo de los sistemas locales como sistemas de referencia en la industria petrolera, catastro y levantamientos topográficos en general.

A partir de abril de 1999 en Venezuela se sustituye el sistema de referencia La Canoa (PSAD56), por el sistema Sirgas REGVEN (Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas-Red Geocéntrica Venezolana), y el 28 de julio del 2000 se publica la Gaceta Oficial N° 37.002 donde se decreta la LEY DE GEOGRAFÍA, CARTOGRAFÍA Y CATASTRO NACIONAL, y se crea el Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar (IGVSB) el cual es el órgano rector de todo lo referente a Geodesia, Cartografía y Catastro en nuestro país. En su Artículo 11, La LEY DE GEOGRAFÍA, CARTOGRAFÍA Y CATASTRO NACIONAL, cita *“Toda persona que realice levantamientos geodésicos o topográficos los referirá al Sistema Geodésico Nacional, de acuerdo a las normas técnicas establecidas por el Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar”*.

El Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar (IGVSB), en su “**NORMA PARA REFERIR LOS LEVANTAMIENTOS GEODÉSICOS Y TOPOGRÁFICOS AL SISTEMA GEODÉSICO NACIONAL**”, especifica que “El sistema geodésico nacional REGVEN deberá ser adoptado en todos los trabajos de georreferenciación que realice la administración pública, así como las instituciones privadas relacionadas” y “Las coordenadas finales deben ser presentadas en UTM y Geodésicas”. Esto apoyado en que los recientes avances en los Sistemas Globales de Navegación por Satélite (GNSS), y su capacidad de georreferenciación reduce drásticamente los tiempos de ejecución de distintas actividades del índole geodésico, como por ejemplo los levantamientos topográficos y levantamientos catastrales, ha provocado la sustitución que los métodos tradicionales de adquisición de datos y de materialización de redes geodésicas para el establecimiento de un sistema de referencia para el control y ejecución de obras de ingeniería, levantamientos topográficos y levantamiento catastrales, actividades en las cuales la determinación de coordenadas a partir Sistemas Globales de Navegación por Satélite (GNSS) y la posterior transformación de las coordenadas adquiridas con técnicas espaciales a la proyección Universal Transversal de Mercator (UTM), ocasiona inexactitudes, debido a que entran en juego variables como el factor de escala, la convergencia de los meridianos, falso Este y falso Norte, además de los modelos matemáticos de conversión, producen deformaciones en las distancias (anamorfosis lineal) y no se logra articular con mediciones realizadas en campo con dispositivos de medición electrónica de distancia, lo que ocasiona que la posición y el área varíen respecto a su valor real.

En la actualidad el **Sistema Geodésica de Observación Global (GGOS)**, plantea la necesidad de la vinculación de los marcos de referencia en todos sus niveles para la materialización de una infraestructura geodésica con técnicas espaciales, la cual debe tener suficiente precisión para cubrir las necesidades de las actividades geodésicas y aportar en el desarrollo de la sociedad. En este sentido surge la necesidad de contar con una metodología de conversión que además de mantener la escala, permita la vinculación de los marcos de referencia de manera consistente.

1.3. Marco Referencial

El marco referencial presenta investigaciones realizadas las cuales fueron consultadas al estar relacionadas con este trabajo, en esta etapa se realiza una revisión de aquellos trabajos que puedan aportar información, datos, metodologías y métodos que puedan ser evaluadas y servir de aporte para la consecución de los objetivos planteados en este trabajo especial de grado.

A continuación, se presenta una recopilación de los trabajos consultados como parte de esta investigación:

- **Formulas and constants for the calculation of the Swiss conformal cylindrical projection and for the transformation between coordinate systems (swisstopo, 2016):**

Este informe desarrollado por la *Federal Office of Topography Swisstopo*, presenta una recopilación de todos los sistemas desarrollados en Suiza como parte de su infraestructura geodésica y la vinculación entre ellos a través de conversión y transformación de coordenadas. En este trabajo se presenta la correlación entre el Marco de Referencia Nacional de Suiza CHTRS95 (*Swiss Terrestrial Reference System 1995*) y el Sistema Clásico CH1903.

- **Individualización de Zonas y Rangos de Deformación Horizontal en Chile para Proyectos de Ingeniería de Detalle a partir de la Estandarización de Parámetros Geodésicos y Cartográficos utilizando SIRGAS como Marco de Referencia (Castillo, 2015):**

En esta presentación realizada en el Simposio de SIRGAS en el año 2015, se plantea la necesidad de Chile de encontrar una metodología que permita generar planos topográficos locales para la ejecución de ingeniería de detalle los cuales estén vinculados con SIRGAS. Para ello delimitan zonas con parámetros geodésicos-cartográficos utilizando la adaptación de la proyección UTM a las características locales, permitiendo definir zonas en LTM (Local Transversal Mercator).

- **Norma NBR 14166:**

La norma NBR 14166 presentada por las Asociación Brasileña de Normas Técnicas, fija las condiciones para la implantación de la red geodésica municipal catastral. En ella se detallan las exactitudes que se deben alcanzar, así como un modelo de conversión que

permite la generación de planos topográficos locales, a partir de coordenadas geodésicas. La metodología aquí propuesta se ve limitada por una diferencia máxima desde el origen de 50 km y diferencias de elevación entre el origen y cada vértice de ± 150 m. (ABNT, 1998)

- **Definición de Planos Topográficos Locales para un caso de estudio, poligonal chocontá-suesca, siguiendo la metodología planteada por la Norma Brasileira NBR 14166 (Pablo A & Estiven, 2015):**

En este trabajo se plantea una comparación entre la metodología propuesta en la norma brasileña NBR 14166 y la metodología propuesta por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC), para la generación planos topográficos locales como solución a la correlación de datos obtenidos con técnicas modernas y técnicas clásicas. Para la evaluación se utilizó una poligonal de 20 km de largo, ubicada en la vía que comunica Choconta y Suesca.

- **Comparaçao de metodos de transformaçao de coordenadas geodesicas para o plano topografico local utilizando os softwares Transgeolocal, TopoEVN, Posiçao e o aplicativo de Transformaçao plana (Vargas G, 2013):**

En este trabajo se evalúa la calidad de los métodos de conversión de conversión de coordenadas geodésicas a un plano topográfico local, utilizando los softwares Transgeolocal, TopoEVN, Posiçao una aplicación de transformación plana, esto como alternativa al método propuesto en la norma NBR 14166, la cual se ve limitada por un radio máximo de 50 km y diferencias de elevaciones de ± 150 m.

- **Precisión y exactitud del método GNSS en modo estático para redes topográficas utilizadas en ingeniería civil (Nixon A & Liliana A, 2018):**

En este trabajo se evalúa la utilización de mediciones GNSS estáticas como estrategia de materialización de redes geodésicas para actividades relacionadas con ingeniería civil. Para ello realizaron la comparación con mediciones de campo concluyendo en la necesidad de utilizar coordenadas planas para lograr la vinculación entre datos obtenidos con técnicas espaciales y mediciones utilizando técnicas clásicas.

- **Geomatics Guidance Note 7, part 2 Coordinate Conversions & Transformations including Formulas (IOGP, 2018):**

Este documento publicado por la Asociación Internacional de Países Productores de Gas y Petróleo (IOGP), contiene todas las formulas y explicaciones necesarias para la ejecución de conversión y transformación de coordenadas soportado por la base de datos de la EPSG. De este documento se tomó toda la información referente a la proyección Cassini-Soldner, la transformación Helmert 2D y la conversión de coordenadas Geocéntricas-Topocéntricas.

- **Control de Excavación y Proyecto del Concreto de Revestimiento Primario del Foso de Mantenimiento Rosaleda (Pereira & Bravo, 2015):**

Informe de pasantías desarrollado en el Departamento de Topografía del consorcio Sistema Metro de Los Teques, como parte del entrenamiento industrial se planteó la búsqueda de una metodología para conversión de coordenadas del Sistema Metro de Los Teques a REGVEN, utilizando el software Sierra Pro ST, una vez configurado este para la conversión según los parámetros facilitados por el Departamento de Topografía, se encontraron discrepancias en el orden del centímetro en la coordenada Este y en orden del metro en la coordenada Norte, con un error promedio de 0,68 m en Este y -3.57 m en Norte. Como alternativa de conversión se planteó el Modelo Helmert 2D, obteniendo un error promedio de 0,007 m en la coordenada Este y 0,14 m en Norte.

- **Códigos y Normas Aplicables:**

Para el desarrollo de este trabajo además fueron consultadas una serie de estándares nacionales e internacionales los cuales definen exactitudes y metodologías aplicables en la medición con receptores GNSS, estas se listan a continuación:

1. Norma para Referir Levantamientos Geodésicos y Topográficos al Sistema de Referencia Nacional (**IGVSB, 2000**).
2. Normas Para el Establecimiento de la Red Geodésica Municipal utilizando GPS (**IGVSB, 2000**).
3. GEO-02-01-02 LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS (**PDVSA, 2017**).
4. GEO-02-01-03 CARTOGRAFÍA (**PDVSA P. d., 2017**).

5. GEO-02-01-06 CONTROL GEODÉSICO Y TOPOGRÁFICO EN LEVANTAMIENTOS DE ADQUISICION SÍSMICA (PDVSA P. d., 2015).
6. *Guidelines for GNSS positioning in the oil & gas industry* (IMCA & OGP, 2011).
7. *Control and Topographic Surveying* (Engineers, 2007).
8. *Guideline for the Adjustment and Evaluation of Survey Control* (ICSM, 2014).
9. *Guideline for Control Surveys by GNSS* (ICSM, 2014).
10. *National Standards for the Survey of Canada Lands* (NRC, 2019).

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Desarrollar la metodología que permita la conversión de coordenadas entre Sistemas Terrestres Globales de Posicionamiento y Sistemas Locales de Posicionamiento (LPS).

1.4.2. Objetivos Específicos

- Identificar los métodos de conversión de coordenadas entre sistemas terrestres globales y sistemas locales de posicionamiento (LPS) con mínimas desviaciones.
- Seleccionar el marco de referencia a utilizar para la aplicación de la metodología propuesta.
- Comparar el método propuesto con métodos existentes nacional e internacionalmente.
- Desarrollar una aplicación digital para la conversión de coordenadas de un Sistema Terrestre Global a un Sistema Local de Posicionamiento (LPS) y viceversa.

1.5. Alcance

Con la investigación aquí señalada, se realiza una propuesta metodológica para la conversión de coordenadas entre Sistemas Terrestres Globales y Sistemas Locales de Posicionamiento (LPS) y viceversa con mínimas desviaciones, que permita la articulación de datos en ambos sistemas, orientado a la ejecución de labores topográficas y de catastro, a partir de datos adquiridos con receptores GNSS.

Para ello, se realizarán mediciones con receptores GNSS y se actualizará la Red Topográfica Ciudad Universitaria de Caracas, la cual está constituida por vértices ubicados en los techos de los edificios de Ingeniería, Farmacia, FACES, el Departamento de Hidrometeorología, el estacionamiento del Estadio Universitario, la Biblioteca Central y el Hospital Clínico Universitario. Con estas mediciones se evaluó la fiabilidad, eficacia y calidad de la metodología propuesta y validará que el método de conversión cumple con los requerimientos de exactitud para ser utilizado en obras de ingeniería y catastro en nuestro país.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Geodesia Moderna

La geodesia es, según la definición de Helmert (1880), la ciencia de la medición y representación cartográfica de la superficie terrestre. Los objetivos tradicionales establecidos por esta definición fueron la determinación de coordenadas de puntos y de la gravedad. La aplicación de los resultados geodésicos se concentró en los levantamientos para catastro, ingeniería, topografía, cartografía, entre otros. A partir de mediciones geodésicas cada vez más precisas se detectaron variaciones de los resultados con el tiempo (p.ej. deformaciones) y efectos del ambiente (p.ej. refracción atmosférica). Hoy en día, la geodesia está en capacidad de aplicar las variaciones y los efectos ambientales observados para el control de la geodinámica y del clima. La geodesia se convirtió en la ciencia de medición del cambio global.

2.2. Superficies de Referencia

2.2.1. Elipsoide

Desde el punto de vista geométrico, las coordenadas cartesianas, aunque adecuadas para el cálculo, no proporcionan una idea clara e inmediata de la posición de los puntos sobre la superficie terrestre. Por esa razón, en geodesia, es usual referir la posición espacial de puntos a una superficie que aproxime la forma de la Tierra. En ese sentido se define como superficie geométrica de referencia la que corresponde a un elipsoide de revolución. La forma y dimensión del elipsoide de revolución terrestre queda determinada por dos parámetros (por ejemplo, a: semieje mayor y b: semieje menor) ver Figura 1, además es necesario definir su ubicación y orientación.

Tanto su forma y dimensiones, dadas por a y b (semieje mayor y semieje menor del elipsoide respectivamente), como su ubicación y orientación se obtienen ajustándolo de la

mejor manera posible al geoide. El centro del elipsoide coincide así con el origen del sistema cartesiano y el semieje menor con el eje Z. Es posible entonces obtener las coordenadas geodésicas: Latitud (φ), Longitud (λ) y Altura Elipsoidal (h), Figura 2.

De esta manera cada sistema de referencia geodésico tendrá asociado un elipsoide de revolución. (Huerta, Mangiaterra, & Noguera, 2005)

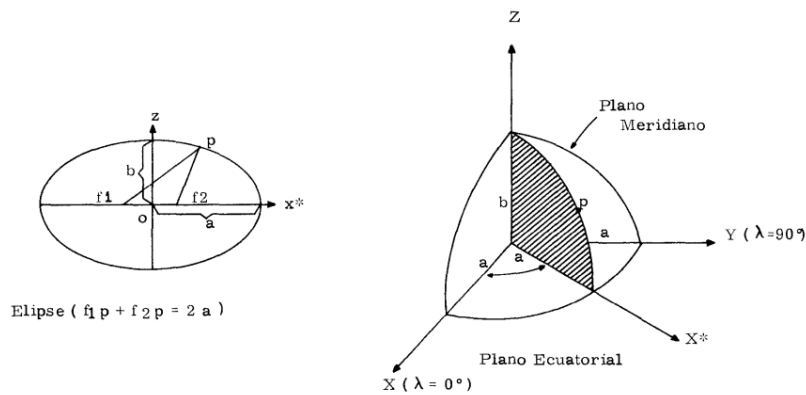


Figura 1. Parámetros del Elipsoide.

Fuente: (Krakiwsky & Wells, 1973).

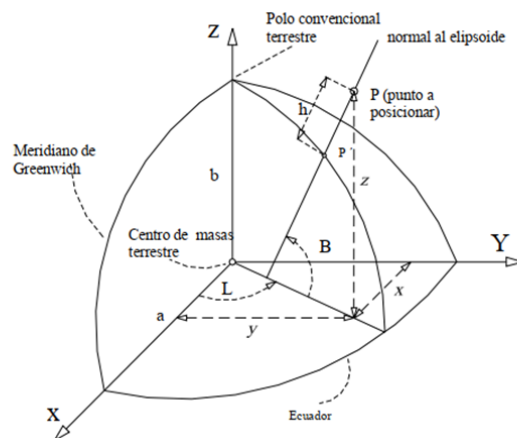


Figura 2. Coordenadas Geodésicas.

Fuente: (Huerta, Mangiaterra, & Noguera, 2005).

2.2.2. Geoide

Si Consideramos las aguas del océano como una materia homogénea que se mueve libremente y que está sujeta solo a la fuerza de gravedad de la Tierra, al alcanzar un estado de equilibrio, la superficie de tales océanos idealizados asume una superficie nivelada del campo de gravedad; podemos considerarlo como extendido bajo los continentes. Este nivel se denomina geoide. (Torge, 1991)

2.2.3. Datum

Se definirá dátum como el conjunto de parámetros que definen la posición de un elipsoide respecto a la tierra. Para determinarlo hace falta conocer la geometría del elipsoide a (semieje mayor) y f (achatamiento), su posición respecto al geocentro ΔX , ΔY , ΔZ (coordenadas del centro del elipsoide respecto al geocentro), su orientación $R1$, $R2$, $R3$ (orientación de los ejes del elipsoide respecto a los terrestres) y la escala k .

2.3. Sistemas de Referencia Globales

2.3.1. Global Reference System 1980 (GRS-80)

El Sistema de Referencia Geodésica de 1980 (GRS-80) fue adoptado en la XVII Asamblea General de la Unión Internacional de Geodesia y Geofísica (IUGG, por sus siglas en inglés) en Canberra, diciembre de 1979.

La Unión Internacional de Geodesia y Geofísica reconociendo que el Sistema de Referencia Geodésica de 1967 adoptado en la XIV Asamblea General de la IUGG, Lucerna, 1967, ya no representa el tamaño, la forma y campo de gravedad de la Tierra con una precisión adecuada para aplicaciones geodésicas, geofísicas, astronómicas e hidrográficas y teniendo en cuenta que los valores más apropiados están ahora disponibles, recomienda que el Sistema de Referencia Geodésico de 1967 sea reemplazado por el nuevo sistema GRS-80, también basado en la teoría del elipsoide equipotencial geocéntrico.

2.3.2. World Geodetic System 1984 (WGS-84)

WGS-84 es un sistema de referencia terrestre y datos geodésicos. WGS-84 se basa en un conjunto de constantes y parámetros de modelo que describen el tamaño, la forma, la gravedad y los campos geomagnéticos de la Tierra.

El sistema de referencia GPS (Global Positioning System) es WGS-84. Los usuarios de GPS reciben directamente las coordenadas WGS-84 de un receptor GPS si no se seleccionan o realizan cambios en el marco de referencia.

El software que genera las órbitas de transmisión de GPS se actualiza al comienzo de cada año calendario, con una época en la marca de medio año para explicar el movimiento tectónico de las placas. Este método da como resultado un ajuste gradual anual de las coordenadas WGS-84 entregadas a través de la transmisión de órbitas GPS.

Las ubicaciones de las estaciones del marco de referencia se actualizan para cualquier desplazamiento repentino, como terremotos. Las órbitas de GPS precisas generadas por NGA (National Geodetic Agency) incorporan el movimiento de las placas al usar las velocidades de propagación de las estaciones de referencia.

2.3.3. Parametry Zemli 1990 (PZ-90)

PZ-90 fue creado en la composición de los parámetros geodésicos de la Tierra Sistema “Parámetros de la Tierra” en 1990, utilizando método dinámico de geodesia por satélite para igualar las observaciones conjuntas de las observaciones de los satélites geodésicos GEOIK (1985-1989), GLONASS (Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya), ETALON así como las observaciones gravimétricas terrestres y nivel medio del mar derivado de datos de altimetría del GEOIK. El sistema de coordenadas PZ-90, se fija mediante puntos distribuidos en el globo, formando una red geodésica con técnicas espaciales. Un grupo de puntos de control en tierra de GLONASS son referidos al sistema de coordenadas PZ-90.

El sistema de coordenadas PZ-90 es el sistema de coordenadas de la Tierra.

La definición de este sistema de coordenadas cumple con los criterios descritos en la definición de los parámetros de la Tierra en 1990:

- Es geocéntrico, el centro de masa está determinado para toda la Tierra, incluyendo océanos y atmósfera;
- La orientación corresponde a las recomendaciones del Servicio Internacional de Rotación de la Tierra (IERS, por sus siglas en inglés) y la Oficina Internacional del Tiempo (BIH);
- La evolución temporal en la orientación no creará una rotación global residual con respecto a la corteza terrestre (la tasa de rotación es cero en relación con ITRF2000);
- Se fija en la superficie de la Tierra por los puntos de la red geodésica espacial.
- PZ-90 es una base geodésica para el sistema GLONASS y se utiliza para posicionar los satélites.

2.3.4. Galileo Terrestrial Reference Frame (GTRF)

Galileo se basa en un marco de referencia cartesiano geocéntrico como lo define el Marco de Referencia Terrestre Galileo (GTRF, por sus siglas en inglés). GTRF estará relacionado con el Marco de Referencia Terrestre Internacional (ITRF, por sus siglas en inglés), que ha sido establecido por el IERS (Hein y Pany 2002). El GTRF se especifica para diferir a partir de la última versión de ITRF por no más de 3 centímetros (2σ). Esto será garantizado por el proveedor de servicios geodésicos Galileo (GGSP). Además, el GGSP es responsable de la participación de la comunidad geodésica durante la definición, implementación y mantenimiento del GTRF.

2.3.5. China Geodetic Coordinate System 2000 (CGCS2000)

BeiDou Navigation Satellite System (BDS) adopta el *China Geodetic Coordinate System 2000* definido:

- El origen se encuentra en el centro de masas de la Tierra;
- El eje Z está en la dirección de la IERS y el servicio Polo Internacional de Referencia (IRP, por sus siglas en inglés).
- El eje X se dirige a la intersección del meridiano de referencia IERS y el plano que pasa el origen y normal al eje Z.

- El eje Y, junto con el eje Z y el eje X, constituyen un sistema dextrógiro de coordenadas ortogonales.
- El origen del CGCS2000 es también el centro geométrico del elipsoide CGCS2000, y el eje Z es el eje de rotación del elipsoide CGCS2000.

2.4. Datum Geodésico Estático

Los datums geodésicos estáticos alineados con una época fija (o época de referencia) de una versión del ITRF, actualmente dan soporte a la mayoría de usuarios geoespaciales; sin embargo, hay algunas limitaciones prácticas con un datum estático si se utilizan técnicas de posicionamiento GNSS. La técnica de posicionamiento de punto GNSS utiliza los modelos orbitales definidos en los marcos de referencia WGS-84 o del ITRF. Como consecuencia, la ubicación precisa dentro de estos marcos cambiará como una función de tiempo debido a procesos tectónicos y a otras fuentes de deformación como la subsidencia, el levantamiento del suelo y el rebote postglaciar. Está incrementando rápidamente la accesibilidad y se está reduciendo el costo del posicionamiento preciso a nivel centimétrico. A menos que se localicen posiciones GNSS precisas (por ejemplo, mediante una red local de estaciones de monitoreo continuo (CORS, por sus siglas en inglés) o mediante la transformación de un sitio en una marca de referencia geodésica), los usuarios notarán que las posiciones de objetos “fijos” (en un marco de referencia local) cambian cada pocos meses. Las placas tectónicas rígidas giran lentamente con el manto de la Tierra, pero la rotación se da a una velocidad suficientemente rápida como para introducir errores en el procesamiento GNSS de líneas base estáticas y en RTK (Real Time Kinematic) para líneas largas si la velocidad de rotación es alta y hay una gran diferencia entre las épocas de medición y de referencia.

2.5. Datum Semicinemático

Un datum semicinemático (o datum semidinámico) es aquel en que un modelo de deformación forma parte integral de la definición del mismo. La determinación de posiciones GNSS de puntos y el análisis de datos geodésicos se llevan a cabo en el marco de referencia ITRF cinemático, mediante la última versión de ITRF. Luego las coordenadas

resultantes se propagan de regreso a la época de referencia fija del datum semicinemático, de modo que los datos espaciales pueden integrarse sin fisuras durante largos periodos de tiempo. La utilidad del enfoque del datum semicinemático es que la precisión del análisis de los datos no se degrada como resultado de la deformación no modelada; sin embargo, para el usuario final, el datum geodésico de referencia parece estático en una época de referencia fija.

2.6. Sistemas y Marcos de Referencia Convencionales

Las Naciones Unidas cuentan con un comité encargado de la Gestión Global de la Información Geoespacial (UN-GGIM, por sus siglas en inglés), esta iniciativa busca hacer que la información geoespacial precisa, autorizada y confiable esté disponible para el desarrollo nacional, regional y global.

Por ello fue creado el grupo de trabajo dedicado al establecimiento del Marco de Referencia Geodésico Global (GGRF, por sus siglas en inglés), este a su vez representa una de las metas de la IAG y el Sistema Geodésico de Observación Global (GGOS, por sus siglas en inglés), con lo cual se busca establecer un marco de referencia común para todos los procesos geodésicos y geofísicos.

2.7. El Sistema Geodésico de Observación Global (GGOS)

El GGOS se creó originalmente como un proyecto de IAG en 2003, y en 2007 se convirtió en un componente completo de IAG. De esta manera GGOS proporciona a toda la comunidad geocientífica la infraestructura geodésica necesaria para apoyar la supervisión del sistema terrestre y la investigación de los cambios que a nivel mundial se acentúan en diversas disciplinas científicas, aplicaciones socioeconómicas y de salud. Constituyéndose en un programa que se fundamenta en tres pilares de la geodesia, como primer pilar considera la determinación de las variaciones de la geometría de la superficie de nuestro planeta y la cinemática de su movimiento tanto en su superficie como la del propio cuerpo planetario en tiempo real (Tierra, hielo y superficie de los océanos), luego el segundo pilar es la orientación de la Tierra y la rotación también en tiempo real su dirección y sentido, los cambios de la nutación, el movimiento polar y las aceleraciones de giro, y el tercer pilar lo

constituyen la observaciones y determinaciones de las variaciones espaciales y temporales de la gravedad y el geoido, todo ello mediante el empleo de tecnología satelital y terrestre, con el fin de maximizar el beneficio para la comunidad científica y la sociedad en general.

El GGOS cumple su misión mediante la definición de la infraestructura geodésica necesaria para hacer frente a la sociedad científica y las necesidades, por abogar el establecimiento y mantenimiento de esta infraestructura geodésica, mediante la coordinación de la interacción entre los servicios de IAG, comisiones, y las partes interesadas, procurando la mejora de la calidad y accesibilidad a las observaciones geodésicas y de los productos, y educando a la comunidad científica sobre los beneficios de la investigación geodésica y la opinión pública sobre el papel fundamental que desempeña la geodesia en la sociedad.

2.8. Marco de Referencia Geodésico Convencional

Es la materialización de un sistema de referencia convencional a través de observaciones, es decir, se trata de un conjunto de puntos (lugares localizados en la superficie terrestre) con coordenadas y velocidades conocidas en ese sistema de referencia convencional y que sirven para materializar en el espacio el sistema de referencia (Ver Figura 3). Con el pleno conocimiento de las constantes geométricas y físicas de las superficies de referencia.

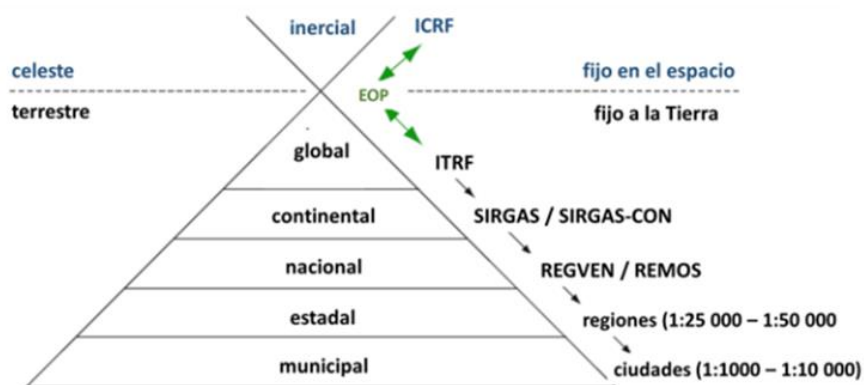


Figura 3. Jerarquización Marcos de Referencia Terrestre.

Fuente: (Cioce, Martínez, Mackern, Pérez, & de Freitas, 2017).

2.9. El Sistema Internacional de Referencia Terrestre (ITRS)

El Sistema Internacional de Referencia Terrestre (ITRS) constituye un conjunto de prescripciones y convenciones junto con el modelado requerido para definir el origen, la escala, la orientación y la evolución temporal de un Sistema de Referencia Terrestre Convencional (CTRS, por sus siglas en inglés). El ITRS es un sistema de referencia ideal, según lo definido por la resolución IUGG No. 2 adoptada en Viena, 1991. El sistema es realizado por el Marco de Referencia Terrestre Internacional (ITRF) basado en coordenadas y velocidades estimadas de un conjunto de estaciones observadas por técnicas VLBI, LLR, GPS, SLR y DORIS. El ITRS se puede conectar al Sistema Internacional de Referencial Celeste (ICRS, por sus siglas en inglés) mediante el uso de los Parámetros de Orientación de la Tierra (EOP, por sus siglas en inglés) proporcionados por el IERS.

2.10. Marco de Referencia IGS

Otra realización del ITRS es el marco IGS (Internacional GNSS Service), IGS es un organismo compuesto por más de 200 agencias de todo el mundo que comparten recursos y datos de estaciones GPS o GLONASS permanentes de todo el mundo, con el fin de generar productos GNSS de alta precisión (órbitas de los satélites de las constelaciones GNSS, estado de los relojes de los satélites, parámetros de rotación terrestres, etc.).

Este marco está compuesto por cerca de 400 estaciones que cuentan únicamente con la técnica espacial GPS o GLONASS, es por esto que si se utilizan únicamente las observaciones de estas estaciones se puede formar un marco de referencia (el marco IGS) que será más consistente que el ITRF, ya que no utiliza ni mezcla observaciones de otras técnicas espaciales, con esto no se quiere decir que sea un marco más preciso que el marco ITRF. Para preservar el datum (origen, escala y orientación) de la solución ITRF en la solución IGS, el marco IGS se alinea al marco ITRF mediante una transformación Helmert utilizando estaciones de alta calidad (90 para el marco IGS00 y 132 para el IGS05), por lo que podemos encontrar coordenadas para una misma estación en los dos marcos de referencia, IGS e ITRF, que pueden llegar a variar algunos milímetros.

2.11. Marco Internacional de Referencia Terrestre (ITRF)

El Marco Internacional de Referencia Terrestre (ITRF, por sus siglas en inglés) es un conjunto de puntos con sus tres (3) dimensiones determinadas en las coordenadas cartesianas geocéntricas que corresponden a un sistema ideal de referencia denominado el Sistema Internacional de Referencia Terrestre (ITRS, por sus siglas en inglés), para una época determinada, tal como se define en la resolución IUGG N ° 2, anteriormente señalada y aprobada en Viena, 1991. De igual manera, la implantación de un sistema Convencional de Referencia Terrestre (CTR, por sus siglas en inglés) en el cuál se deberá restringir la ambigüedad en la determinación de las coordenadas y otros parámetros, en términos de un orden igual o inferior al milímetro para toda la superficie terrestre, y con este nivel de exactitud en el cual se deberá monitorear la relatividad de los eventos y las deformaciones o movimientos de las placas tectónicas. Como definiciones y premisas relacionadas a la conceptualización de los CTR, IUGG No. 2 (1991), tenemos:

- CTR se define como sistema de rotación geocéntrico con rotación espacial que conduce a un casi-sistema de coordenadas cartesianas.
- El sistema de no-rotación geocéntrico será idéntico al Sistema de Referencia Geocéntrico (GRS, por sus siglas en inglés) del ITRS, tal como se define en las resoluciones de la Unión Astronómica Internacional (IAU, por sus siglas en inglés).
- El origen de coordenadas de tiempo del CTR, así como el GRS debe ser el marco geocéntrico de coordenadas de tiempo (TCG),
- El origen del sistema coincide con el centro de masa de la Tierra, incluidos los océanos y la atmósfera, al igual que el ITRS e ITRF.
- El sistema mundial no tiene rotación residual con respecto a la horizontal de los movimientos en la superficie terrestre.

2.11.1. Soluciones ITRF

Las soluciones disponibles del ITRF se encuentran publicadas en la página web http://itrf.ensg.ign.fr/ITRF_solutions/ mediante las coordenadas de posición de las estaciones y velocidades que lo definen, con su varianza y las matrices de covarianza. El ITRF más recientemente puesto en servicio es el ITRF2014, en su determinación se

combinaron Parámetros de Orientación de la Tierra (EOP, por sus siglas en inglés) simultáneamente con las coordenadas de las estaciones. En la parte 4 de la nota técnica N° 32 del IERS se encuentran los detalles de esta última implantación del Marco Internacional de Referencia Terrestre.

Las soluciones modernas del ITRF se inician con el ITRF88 y hasta ahora se han desarrollado trece (13) definiciones, correspondiendo la última del ITRF2014 con la más avanzada y mejorada de las definiciones del marco internacional de referencia. La secuencia es la siguiente:

- ITRF2014
- ITRF2008
- ITRF2005
- ITRF2000
- ITRF97
- ITRF96
- ITRF94
- ITRF93
- ITRF92
- ITRF91
- ITRF90
- ITRF89
- ITRF88

A partir del 2001, la IERS estableció tres centros para la combinación de las soluciones, estos son: Instituto Geográfico Nacional (IGN) de París, Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut (DGFI) de Alemania y Natural Resources Canada (NRC) de Canadá. De esta manera cada servicio o técnica (IGS, ILRS, IVS e IDS) entrega una solución derivada de la combinación de las soluciones individuales.

2.12. Marco de Referencia Continental

2.12.1. Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas (SIRGAS)

El proyecto SIRGAS, inicialmente definido como Sistema de Referencia Geodésica para Suramérica, es aprobado durante la Conferencia Internacional para la definición de un datum geocéntrico para América del Sur, realizada en 1993, en La Asunción, Paraguay y auspiciado por la Asociación Internacional de Geodesia (IAG, por sus siglas en inglés), Instituto Panamericano de Geografía e Historia (IPGH) y la Agencia Nacional de Mapas e Imágenes (NIMA, por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos de Norteamérica. En aquella oportunidad los objetivos del proyecto SIRGAS eran:

- Definir un sistema de referencia para las Américas.
- Establecer y mantener una red de referencia.
- Definir y establecer un datum geocéntrico.

Actualmente, la página de la organización **www.sirgas.org** define a SIRGAS como una organización sin ánimo de lucro, cuyos objetivos principales se centran en la definición, realización y mantenimiento de un marco de referencia tridimensional para las Américas, incluyendo un sistema vertical de referencia físico. Luego de la expansión de SIRGAS en el año 2001 a Centro América, el Caribe y Norte América, uno de los objetivos principales ha sido la integración de los países centroamericanos y del Caribe en SIRGAS. En el caso de los Estados Unidos y Canadá, se ha obviado este esfuerzo ya que ellos conforman un Grupo de Trabajo que se ocupa de la densificación del ITRF en esa región y que se conoce como NAREF (North American Reference Frame Densification, Working Group), tratado en III.2.1.2, esa densificación se adelanta mediante el procesamiento semanal de las estaciones GNSS regionales de funcionamiento continuo que no forman parte de la red global del IGS. SIRGAS, Boletín No. 12. (2007).

Las iniciativas SIRGAS están encaminadas al mejoramiento continuo de sus componentes para estar a la vanguardia en los asuntos geodésicos y satisfacer de una manera más efectiva los requerimientos de sus usuarios.

2.13. Marco de Referencia Nacional

2.13.1. Red Geocéntrica Venezolana

La República Bolivariana de Venezuela se extiende sobre un relieve heterogéneo y su nueva Red Geodésica ha sido conformada por un Sistema de Posicionamiento Global (GPS, por sus siglas en inglés) como marco de referencia nacional. La nueva Red Geodésica Venezolana denominada REGVEN, se encuentra totalmente vinculada a la red continental de SIRGAS, garantizando su precisión en $\sigma \pm 2$ centímetros para cada vértice de densificación nacional, a partir de las estaciones fiduciarias de clase A que fueron establecidas simultáneamente en las campañas de los años de 1995,4 y 2000,4 (expresiones en fracciones de año).

2.13.1.1. Campaña 1995, ITRF94 Época 1995,4

En la campaña REGVEN-SIRGAS 1995 se ocuparon cinco estaciones fiduciarias SIRGAS-REGVEN con sesiones permanentes de veinticuatro (24) horas y se densificaron sesenta y siete (67) estaciones del marco de referencia nacional REGVEN, mediante el empleo de receptores GPS de doble frecuencia, marcas Trimble y Leica, durante sesiones de seis (6) horas con reocupación doble. La separación de estas estaciones se diseñó entre ochenta (80) y ciento veinte (120) kilómetros. El procesamiento de coordenadas REGVEN se llevó a cabo con el empleo del programa BERNESE, versión 3.4 y efemérides precisas del IGS.

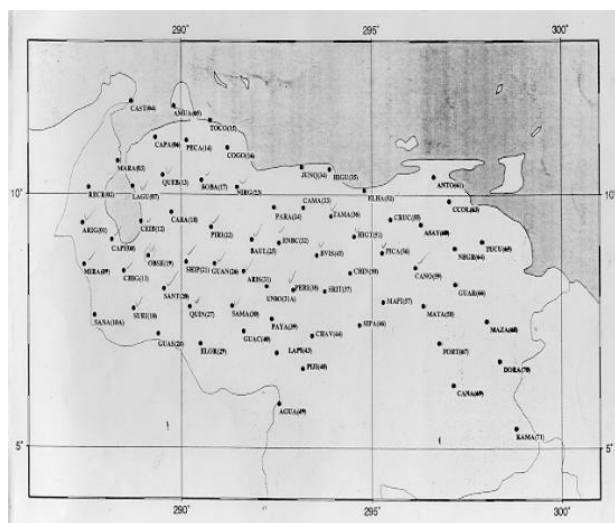


Figura 4. Mapa de Estaciones REGVEN 1995.

Fuente: (Drewes & Jose, 1997).

2.13.1.2. Campaña 2000, ITRF2000 Época 2000,4

Durante el mes de mayo de 2000 se efectuó la segunda campaña de mediciones GPS en todo el territorio nacional simultáneamente a la planificación realizada para la también segunda campaña SIRGAS. Previendo el lapso programado por el comité SIRGAS 2000 se realizaron nuevamente mediciones REGVEN 2000 antes, durante y después de los lapsos comprendidos entre el primero y último día del mes de mayo. Para la campaña REGVEN 2000, se realizaron sesiones dobles con duración de ocho (8) horas cada una, para un total de ochenta y nueve (89) estaciones REGVEN, ocupando tres (3) estaciones fiduciaras SIRGAS con sesiones permanentes de veinticuatro (24) horas, y durante las observaciones conjuntas SIRGAS-REGVEN se utilizaron once (11) estaciones permanentes con intervalo de captura cada quince (15) segundos y receptores de doble frecuencia, marcas Ashtech, Trimble y Leica. La precisión alcanzada, luego del ajuste de coordenadas mediante el empleo del programa BERNESE versión 4.2 y efemérides precisas del IGS, fue de más o menos dos centímetros (± 2 cm).

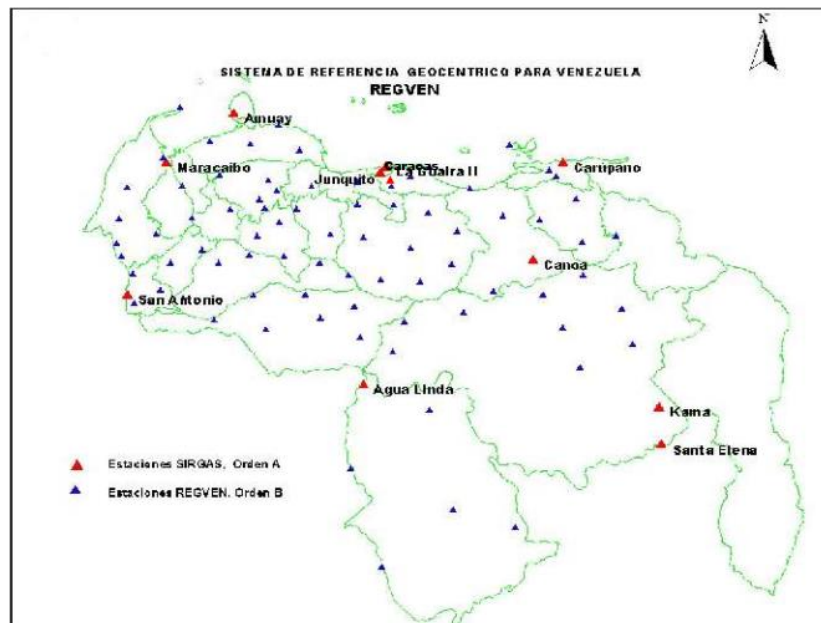


Figura 5. Mapa de Estaciones REGVEN 2000.

Fuente: (Hernandez, 2002).

2.14. Sistema de Coordenadas

El filósofo y matemático francés Rene Descartes (1596 - 1650), quien fue entre los primeros en tomar un “punto de partida” y trazar dos rectas perpendiculares entre sí por dicho punto y así definir un punto denominado “origen de coordenadas” del sistema. Luego de esto se han adaptado una serie de definiciones de lo que es un sistema de coordenadas, en el desarrollo de este Trabajo Especial de Grado (TEG) se tomó la definición propuesta por la Norma ISO 19111 partiendo que las obras de ingeniería cuentan con un sistema de gestión de la calidad, y la propuesta por Ángel Fuomes (2001):

Según ISO 19111:

“Conjunto de reglas matemáticas que especifican cómo las coordenadas deben ser asignadas a los puntos” (ISO, 2003).

Según Ángel Fuomes:

“Sistema de coordenadas, es la parametrización de las coordenadas de los puntos que forman el marco de referencia. En este sentido existen infinitos sistemas de coordenadas para parametrizar el marco de referencia, por ejemplo las coordenadas

Geocéntricas (X, Y, Z), Geodésicas (φ, λ, h) y Cartográficas con un modelo Geoidal (E,N,H), etc”. (Furomes, 2001)

2.14.1. Clasificación de los Sistemas de Coordenadas

La siguiente clasificación cuenta con conceptos con el enfoque clásico de Krakiwsky & Wells y las definiciones modernas de distintos autores, partiendo que la concepción de los sistemas geocéntricos y locales sufrió un gran cambio con la llegada de los sistemas globales de navegación con satélite.

2.14.2. Sistemas de Coordenadas Terrestre Globales

2.14.2.1. Sistema de Coordenadas Terrestre Geocéntrico

- i. El origen es cercano al centro de la Tierra.
- ii. El polo primario está alineado con el eje de rotación de la Tierra y el plano primario perpendicular a este polo es llamado plano ecuatorial.
- iii. El eje primario es la intersección entre el plano ecuatorial y el plano que contiene al meridiano de Greenwich.
- iv. Los sistemas son de mano derecha.

2.14.2.2. Sistema de Coordenadas Geodésicas

Sistema de coordenadas Geodésicas, es decir, con referencia al elipsoide, en el que se especifica la posición mediante la latitud geodésica (φ), la cual es el ángulo medido desde el centro de la Tierra entre la línea del Ecuador y un punto sobre la superficie. La latitud geodésica entrega la localización con respecto al Paralelo del Ecuador. La longitud geodésica (λ), es el ángulo medido desde el centro de la Tierra entre un punto de la superficie y el Meridiano de Greenwich. La longitud permite conocer la localización con respecto al meridiano de Greenwich. La altura elipsoidal (h) es la altura calculada desde el punto en la superficie terrestre al elipsoide que pasa por la normal al elipsoide en dicho punto (en el caso tridimensional). En geodesia se usa un elipsoide que óptimamente se aproxima al geoide según la definición Gauss-Listing, o sea que coincide con el nivel medio del mar (en calma). La forma del elipsoide se representa mediante el semieje mayor

(a) y la excentricidad (e). El sistema elipsoidal de superficie se extiende al espacio mediante la inclusión de la altura h (elipsoidal o geométrica) del punto P sobre el elipsoide, medida a lo largo de la normal. Ver Figura 6.

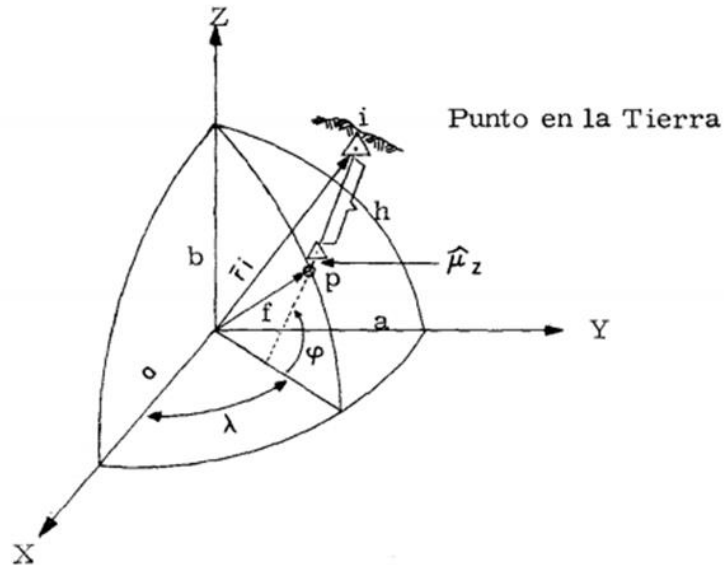


Figura 6. Sistemas de Coordenadas Geodésicas.

Fuente: (Krakiwsky & Wells, 1973).

2.14.3. Sistema de Coordenadas Locales o Sistemas de Posicionamiento Local

El enfoque clásico de los sistemas de coordenadas locales definía estas a partir de un punto origen de coordenadas planas y un plano de alturas medias, este enfoque cambia con la llegada de las técnicas de posicionamiento con satélites, las definiciones a continuación muestran el enfoque clásico de Krakiwsky, y el tratamiento moderno donde se establece el plano tangente a la superficie tomando en cuenta la normal al elipsoide.

2.14.3.1. Sistema de Coordenadas Terrestre Topocéntrico

- i. El origen está en un punto cerca de la superficie de la tierra.
- ii. El plano primario es el plano tangencial a la superficie de la Tierra en ese punto.
- iii. El eje primario es el punto norte (la intersección entre el plano tangencial y el plano que contiene al polo norte rotacional de la Tierra).

iv. Los sistemas son de mano izquierda.

2.14.3.2. Datum Loma Quintana

El punto Loma Quintana cuenta con coordenadas en un sistema astronómico local, el cual fue definido en el año 1909, y es el origen del sistema de referencia de coordenadas rectangulares planas de origen local. El datum con el mismo nombre “Loma Quintana” adoptado en 1935, es el sustituto del antiguo datum del observatorio Cajigal ubicado en Caracas. El punto origen para el sistema fue establecido en la ciudad de Caracas en el fraccionamiento El Mirador, parroquia 23 de enero, por presentar mejor visual para la triangulación del mapa físico.

Origen:

Este = 0,000 m

Norte = 0,000 m

$\varphi_0 = 10^\circ 30' 24,274''$

$\lambda_0 = -66^\circ 56' 01,076''$

(Coordenadas Geodésicas, Datum PSAD-56)

Azimut definido a la estación Volcán = $316^\circ 01' 01,076''$

Este es un ejemplo del enfoque clásico expuesto por Krakiwsky E.J. (1973), donde se define un plano local partiendo de un sistema astronómico local.

2.14.3.3. Sistema de Coordenadas Locales

Consisten en un sistema de referencia local, ligado al campo de gravedad: orientación en función de la vertical local (cenit, línea de la plomada). El origen es el punto del observador (P): “topocentro”, donde lo que se hace es un plano tangente a la Tierra.

El eje z apunta en la dirección del cenit, perpendicular al plano x, y.

El eje x apunta en hacia el norte elipsoidal (meridiano). X, Y, Z equivalen a norte (n), este (e) y “up” (u), respectivamente.

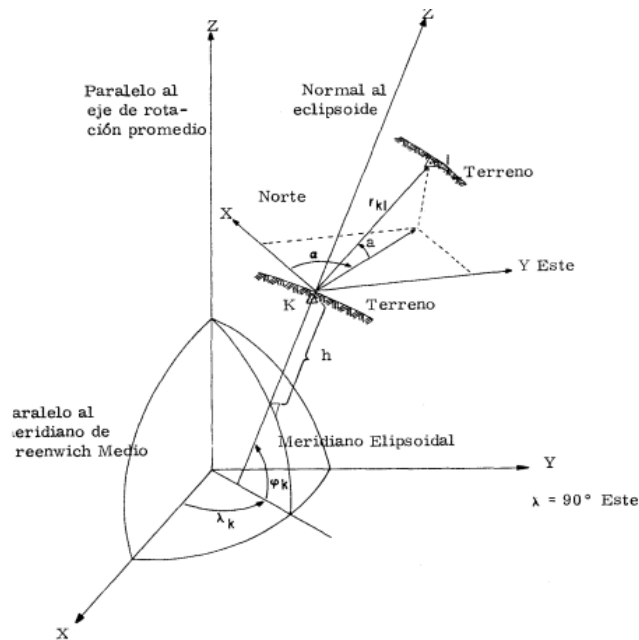


Figura 7. Enfoque Moderno Sistema de Coordenadas Locales.

Fuente: (Tarrío M, 2017).

La definición propuesta por Tarrío M. (2017), se basa en el enfoque moderno propuesto por distintos autores y que permiten la correlación de coordenadas obtenidas de un sistema geocéntrico con un sistema local.

2.15. Ecuaciones de Conversión de Coordenadas

2.15.1. Conversión de Sistema de Coordenadas Geocéntrico a Sistema de Coordenadas Locales

Las coordenadas globales son idénticas a las coordenadas cartesianas; sin embargo, en lugar de utilizar los componentes X , Y , Z , la notación vectorial \mathbf{X} se prefiere. Así, los vectores \mathbf{X}_i y \mathbf{X}_j representan dos puntos terrestres \mathbf{P}_i y \mathbf{P}_j . Definiendo el vector de línea de base entre estos dos puntos en el sistema de coordenadas global por $\mathbf{X}_{ij} = \mathbf{X}_j - \mathbf{X}_i$, este vector también se puede definir en el sistema a nivel local referenciado al plano tangente en \mathbf{P}_i e introduciendo la notación \mathbf{x}_{ij} .

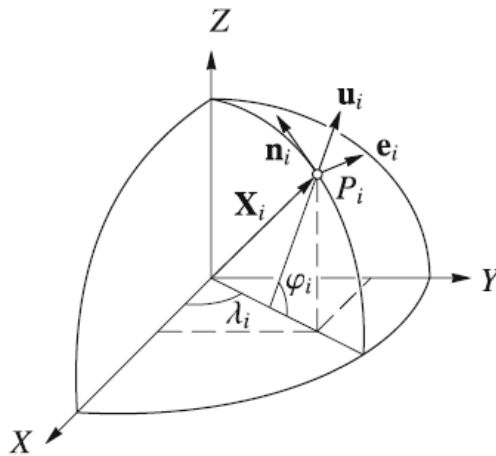


Figura 8. Coordenadas Locales.

Fuente: (Hofmman-Wellenhof, 2008).

Los ejes \mathbf{n}_i , \mathbf{e}_i , \mathbf{u}_i (ver figura 8) del sistema de coordenadas locales (plano tangente) en P_i correspondiente hacia el norte, este y dirección ascendente, están representados en el sistema global por las siguientes matrices de rotación:

$$\mathbf{n}_i = \begin{bmatrix} -\sin\varphi_i & \cos\lambda_i \\ -\sin\varphi_i & \sin\lambda_i \\ \cos\varphi_i & \end{bmatrix}, \mathbf{e}_i = \begin{bmatrix} -\sin\lambda_i \\ \cos\lambda_i \\ 0 \end{bmatrix}, \mathbf{u}_i = \begin{bmatrix} \cos\varphi_i & \cos\lambda_i \\ \cos\varphi_i & \sin\lambda_i \\ \sin\varphi_i & \end{bmatrix}$$

Ecuación 1. Matrices de Rotación de los Ejes.

Fuente: (Hofmman-Wellenhof, 2008).

Donde los vectores \mathbf{n}_i y \mathbf{e}_i abarcan el plano tangente en P_i . La tercera coordenada, el eje del sistema de nivel local, es decir, el vector \mathbf{u}_i , es ortogonal a la tangente del plano y coincide con la normal elipsoidal.

2.15.1.1. Conversión de Sistema de Coordenadas Geocéntrico a Sistema de Coordenadas Locales

Un sistema de coordenadas topocéntricas es un sistema cartesiano 3D que tiene ejes U, V, W perpendiculares entre sí. Un origen en o cerca de la superficie de la Tierra. El eje U está localmente al este, el eje V está localmente al norte y el eje W, forman un sistema de mano derecha. Se aplica en dos configuraciones particulares:

- El eje de altura W se elige para que esté a lo largo de la dirección de la gravedad en el origen topocéntrico, los otros dos ejes están entonces en el plano horizontal. Un caso especial de esto, a menudo utilizado en aplicaciones de ingeniería, es cuando el origen topocéntrico está en la superficie de referencia vertical; entonces la altura topocéntrica W se aproxima a la altura relacionada con la gravedad H , ver Figura 10.

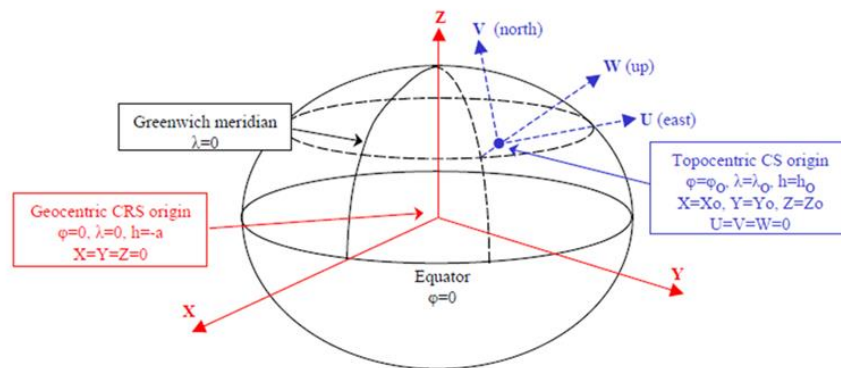


Figura 9. Coordenadas Topocéntricas.

Fuente: (IOGP, 2018)

- El eje de altura topocéntrica W se elige en dirección perpendicular a través del origen topocéntrico y a la superficie del elipsoide. Los otros dos ejes topocéntricos (U y V) están en el "Plano Topocéntrico", un plano paralelo al plano tangente en la superficie del elipsoide en el origen topocéntrico y que pasa a través del origen topocéntrico. Las coordenadas que definen el origen topocéntrico serán usualmente expresarse en términos elipsoidales como latitud φ_0 , longitud λ_0 y altura elipsoidal h_0 , pero alternativamente se expresarán como coordenadas cartesianas geocéntricas X_0, Y_0, Z_0 . En este contexto, las coordenadas geocéntricas del origen topocéntrico no deben confundirse con las del origen geocéntrico donde $X = Y = Z = 0$, ver Figura 10.

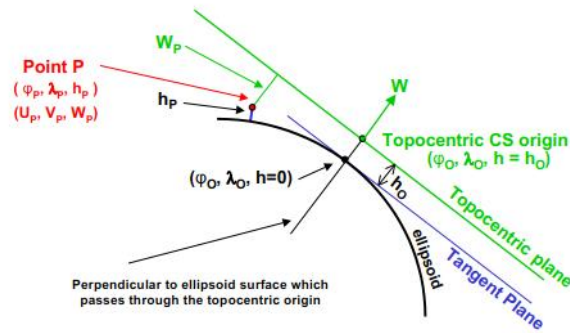


Figura 10. Plano Topográfico Local.

Fuente: (IOGP, 2018).

2.15.2. Ecuaciones de Conversión Geocéntricas – Topocéntricas

$$\begin{pmatrix} U \\ V \\ W \end{pmatrix} = \mathbf{R} * \begin{pmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{pmatrix}$$

Ecuación 2. Arreglo Matricial de Conversión de Coordenadas Geodésicas a Topocéntricas.

Fuente: (IOGP, 2018).

$$\mathbf{R} = \begin{pmatrix} -\sin\lambda_0 & \cos\lambda_0 & 0 \\ -\sin\varphi_0\cos\lambda_0 & -\sin\varphi_0\sin\lambda_0 & \cos\varphi_0 \\ \cos\varphi_0\cos\lambda_0 & \cos\varphi_0\sin\lambda_0 & \sin\varphi_0 \end{pmatrix}$$

Ecuación 3. Matriz de Rotación.

Fuente: (IOGP, 2018).

$$U = -(X - X_0)\sin\lambda_0 + (Y - Y_0)\cos\lambda_0$$

$$V = -(X - X_0)\sin\varphi_0\cos\lambda_0 - (Y - Y_0)\sin\varphi_0\sin\lambda_0 + (Z - Z_0)\cos\varphi_0$$

$$W = (X - X_0)\cos\varphi_0\cos\lambda_0 + (Y - Y_0)\cos\varphi_0\sin\lambda_0 + (Z - Z_0)\sin\varphi_0$$

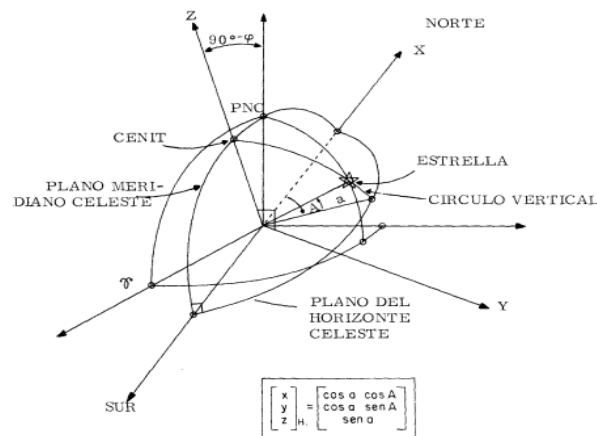
Ecuación 4. Arreglo Lineal de Ecuaciones de Conversión.

Fuente: (IOGP, 2018)

2.16. Sistema de Coordenadas Celestes

Los sistemas de coordenadas celestes son usados para definir las coordenadas de cuerpos celestes tales como las estrellas. La distancia de la Tierra a la estrella más cercana

es mayor de 10^9 el radio de la Tierra, por lo que las dimensiones de la Tierra (verdaderamente del sistema solar) son frecuentemente despreciables comparadas con las distancias a las estrellas. Una segunda consecuencia de estas grandes distancias es que, no obstante que las estrellas mismas están ciertas de estar moviéndose a velocidades cercanas a la velocidad de la luz, a un observador sobre la Tierra este movimiento es percibido como muy pequeño, muy raramente excede de un segundo de arco por año. Por lo tanto, la relación entre la Tierra y las estrellas puede ser fuertemente aproximada considerando a todas las estrellas equidistantes de la Tierra sobre la superficie de la esfera celeste, cuya dimensión es tan grande que la Tierra (y el sistema solar inclusive) puede considerarse como un punto sin dimensiones en el centro. Aunque este punto pueda ser sin dimensiones las relaciones entre direcciones sobre la Tierra y en el sistema solar pueden ser extendidas a la esfera celeste.



Ecuación 5. Sistema de Coordenadas Celestes.

Fuente: (Krakiwsky & Wells, 1973).

2.17. Sistema de Coordenadas Proyectadas o Cartográficas

Los sistemas de coordenadas proyectados o cartográficos, permiten representar la superficie del elipsoide (o de la esfera) sobre un plano a partir de reglas matemáticas o geométricas, por ejemplo, por proyecciones. Como la representación de una superficie curva sobre un plano no es posible sin distorsión, hay que buscar la representación que

distorsione menos los ángulos, las distancias o las áreas. En principio se usan tres proyecciones:

Proyección a partir de un cono.

Proyección a partir de un cilindro.

Proyección a partir de un plano.

La orientación de las superficies puede ser:

- Normal (eje de la superficie paralelo al eje de rotación terrestre).
- Transversal (eje paralelo al ecuador).
- Oblicua (eje en cualquier dirección).

Las distorsiones pueden agruparse en:

Conformes: no presenta distorsión angular (diferencial). Un ángulo sobre el elipsoide se conserva después de cartografiarlo en el plano.

Equidistantes: los meridianos y los paralelos se representan en verdadera longitud, es decir, las distancias son conservadas.

Equivalentes: propiedades equiáreas, es decir, conserva las superficies.

2.18. Sistema Global de Navegación por Satélite

2.18.1. Global Navigation Satellite System (GNSS)

El GNSS consiste en una constelación de satélites artificiales alrededor de la Tierra que transmiten señales comúnmente en la banda L, utilizadas para el posicionamiento y localización en cualquier parte del globo terrestre, para fines de navegación, transporte, geodésicos, hidrográficos, agrícolas, y otras actividades. De esta forma, un sistema de navegación basado en satélites artificiales puede proporcionar a los usuarios información sobre la posición y la hora (cuatro dimensiones) con una gran exactitud, en cualquier parte del mundo, las 24 horas del día y en cualquier condición climatológica.

La determinación de una posición con GNSS consigue un objetivo fundamental de la geodesia: la determinación absoluta de una posición con precisión uniforme en todos los puntos sobre la superficie de la Tierra. Utilizando la Geodesia clásica y técnicas topográficas, la determinación de la posición es siempre relativa a los puntos de partida del trabajo y la precisión obtenida depende de la distancia a este punto. Pero se podrían

destacar otras ventajas, como la velocidad en el cálculo de las coordenadas de los puntos, pudiéndose realizar incluso en tiempo real con precisión centimétrica. Además, en la observación GNSS no es necesario tener visibilidad entre los puntos referencia y móvil para el cálculo de la línea, mientras que en topografía clásica resulta imprescindible. Por otro lado, en la mayoría de los trabajos de topografía clásica es necesario dos operarios trabajando con el instrumento de topografía y el elemento reflector, respectivamente; en GNSS, es posible tener bien protegida la estación de referencia y trabajar una sola persona con el receptor móvil.

Por lo tanto, los GNSS ofrecen ventajas sobre las técnicas convencionales, lo que ha provocado que las estaciones totales estén siendo progresivamente desplazadas por el uso de receptores GNSS en ciertos trabajos topográficos. La geodesia es fundamental para el GNSS y, a la inversa, el GNSS se ha convertido en su principal herramienta. Esto se hace evidente si se repasan los objetivos principales de la Geodesia:

- Establecer y mantener las redes de control geodésico tridimensionales nacionales y globales en tierra, teniendo en cuenta la naturaleza cambiante de estas redes debido al movimiento de las placas tectónicas.
- Medición y representación de fenómenos geofísicos (movimiento de los polos, mareas terrestres y movimiento de la corteza).
- Determinación del campo gravitacional de la Tierra, incluyendo las variaciones temporales.

Sin embargo, no siempre es posible el uso del GNSS en todos los trabajos topográficos, principalmente cuando no se pueden recibir las señales de los satélites debido a la presencia de edificaciones, espesura arbórea, entre otros. Por tanto, no se podrá trabajar con receptores GNSS en zonas bajo cubierta, túneles o en el registro de puntos situados sobre elementos verticales, como fachadas de edificios, pilares, etc. Además, la mayor precisión de la estación total (pocos milímetros frente a los centímetros del GNSS), la hacen todavía imprescindible para determinados trabajos, como la documentación de detalle de determinados objetos o trabajos de ingeniería de gran precisión.

2.18.2. Segmento Espacial

El GNSS se refiere a una constelación de satélites que proporcionan señales desde el espacio que transmiten datos de posicionamiento y temporización a los receptores GNSS. Los receptores luego usan esta información para determinar la ubicación.

Estos satélites transmiten señales de tiempos sincronizados, parámetros de posición de los satélites e información adicional del estado operativo de los satélites sobre las dos portadoras. Por ello, la medida del tiempo ha de ser precisa y cada satélite contiene varios osciladores de alta precisión (de rubidio, cesio o hidrógeno), con estabilizadores muy precisos dando medidas de tiempo del orden de 10-14 segundos.

Por definición, los GNSS proporcionan cobertura global. Entre los ejemplos de GNSS se incluyen el Galileo de Europa, el Sistema de Posicionamiento Global (GPS) de los EEUU., El Sistema Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya (GLONASS) de Rusia y el Sistema de Navegación Satelital BeiDou de China.

2.18.2.1. Constelaciones

2.18.2.1.1. Global Positioning System (GPS)

Un producto directo de la "carrera espacial" de la década de 1960, el NAVSTAR GPS es en realidad el resultado de la fusión de dos programas independientes que se iniciaron a principios de los años sesenta: el programa TIMATION de la Marina de EEUU, y el Proyecto 621B de la Fuerza Aérea de EE.UU. Otro sistema similar en concepto básico para el NAVSTAR GPS actual era el programa TRANSIT de la Marina de los Estados Unidos, que también fue desarrollado en los años 1960. Actualmente, todo el sistema se mantiene por la Oficina del Programa Conjunto NAVSTAR GPS (JPO, por sus siglas en inglés), una Organización del Tratado del Atlántico Norte (OTAN) organización de tipo multiservicio. NAVSTAR GPS fue originalmente diseñada para proporcionar posiciones con alta precisión, en un sistema unificado, para ser utilizado en todo el mundo y en tiempo real, a las fuerzas de los Estados Unidos y los miembros de la OTAN. Posteriormente el congreso de EEUU obliga a que el GPS pueda ser utilizado libremente por el público civil

para el posicionamiento de barcos y el posicionamiento diferencial para puntos de alta precisión.

Tabla 1. Parámetros GPS.

Global Positioning System	
Nombre del Sistema	GPS
Sistema de Coordenadas	WGS-84 (G1150)
Satélites (Configuración Mínima)	24
Orbitas	4
Altura (km)	20200
Periodo (horas Sidereas)	12
Inclinación (Respecto al Ecuador)	55°

Fuente: elaboración propia.

2.18.2.1.2. Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema (GLONASS)

La abreviatura GLONASS deriva del ruso "Global'naya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema", traducido a su equivalente en inglés, esto significa Global Navigation Satellite System. A mediados de la década de 1970, la antigua Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas (URSS) inició el desarrollo de GLONASS basado en las experiencias con el sistema satelital Doppler Tsikada. La empresa unitaria estatal de mecánica aplicada de Reshetnev ha sido el contratista principal responsable del desarrollo general y la implementación del sistema. Además, el desarrollo y la fabricación de los satélites y sus instalaciones de lanzamiento y el sistema de control correspondiente pertenecen a las tareas de esta empresa.

Los subcontratistas son el Instituto Ruso de Investigación Científica de la Industria Espacial y el Instituto Ruso de Radionavegación y Tiempo. Estos institutos son responsables de la supervisión y el control, pero también de un desarrollo adecuado de los receptores y relojes. Tal como se define en el documento de control de interfaz GLONASS publicado por el Centro de información científica de coordinación (2002), el objetivo de GLONASS es proporcionar un "número ilimitado de usuarios de aire, marinos y cualquier otro tipo de usuario con posicionamiento tridimensional, medición de la velocidad y

sincronización en cualquier parte del mundo o el espacio cercano a la Tierra". De forma continua, es decir, en cualquier momento.

Tabla 2. Parámetros GLONASS.

GLOBAL'naya NAVigatsionnaya Sputnikovaya Sistema	
Nombre del Sistema	GLONASS
Sistema de Coordenadas	PZ-90.11
Satélites (Configuración Mínima)	24
Órbitas	3
Altura (km)	19100
Periodo (horas Sidereas)	11h 15m
Inclinación (Respecto al Ecuador)	55°

Fuente: elaboración propia.

2.18.2.1.3. Sistema de Navegación por Satélite Europeo Galileo

Galileo es el Sistema Europeo de Navegación por satélite, que proporcionará un servicio de posicionamiento global y de temporización de gran precisión, bajo control civil. Será compatible con los sistemas GPS y GLONASS, los sistemas americano y ruso de navegación por satélite.

En su definición se han seguido criterios estrictamente civiles, aplicándose esta premisa en la definición de prestaciones, niveles de servicio, operación y provisión de los diferentes servicios, por lo que se puede afirmar, que se trata de un sistema de carácter totalmente civil.

Galileo es un proyecto insignia de la Política Espacial Europea. Sus objetivos son, entre otros, responder a las necesidades de los ciudadanos, respaldar otras políticas de la Unión Europea (UE), desarrollar las aplicaciones espaciales y aumentar la competitividad de los europeos. Además, debe ser contemplado en el contexto más amplio de la política de la Comisión destinada a impulsar la innovación y en el de la estrategia de Lisboa, iniciativas todas ellas en las que la acción del sector público puede ser fundamental para el surgimiento de empresas competitivas a nivel mundial. Estamos en presencia de un ejemplo claro líder de mercado. (Martínez T, 2013)

Tabla 3. Parámetros GALILEO.

Galileo Global Navigation Satellite System	
Nombre del Sistema	GALILEO
Sistema de Coordenadas	GTRF
Satélites	30
Órbitas	3
Altura (km)	23222
Periodo (horas Sidéreas)	14
Inclinación (Respecto al Ecuador)	56°

Fuente: elaboración propia.

2.18.2.1.4. Beidou/Compass

Beidou, Compass o BNTS (BeiDou/Compass Navigation Test System) de la República Popular China cuenta con tres tipos de satélites distintos, los Beidou-G en órbita geostacionaria (GEO), los Beidou-M en órbita de media altura (MEO) y los Beidou-I en una órbita geostacionaria inclinada (IGSO).

Se espera que esté totalmente operativo en 2020, el sistema Beidou estará formado por unos 35 satélites, cinco en GEO, tres en IGSO y entre 24 y 27 en MEO. Es decir, el sistema Beidou contará con un mínimo de 24 satélites en MEO, ocho en tres planos orbitales, una disposición similar al sistema GLONASS o el Galileo y distinta al GPS (seis planos con cuatro unidades). En el futuro, el sistema Beidou ofrecerá dos tipos de servicio, uno civil y otro militar, al igual que el GPS o el GLONASS.

Tabla 4. Parámetros Beidou.

Beidou Global Navigation Satellite System	
Nombre del Sistema	BeiDou
Sistema de Coordenadas	CGCS2000
Satélites	32
Órbitas	3
Altura (km)	35786 GEO - 21528 MEO
Periodo (horas Sidéreas)	12h 53m 24s

Beidou Global Navigation Satellite System	
Inclinación (Respecto al Ecuador)	55°

Fuente: elaboración propia.

2.18.3. Segmento Usuario

El segmento de usuarios comprende cualquier receptor que reciba las señales, determinando su posición y/o la hora.

Un receptor GNSS comprende los siguientes elementos:

- El equipo de campo, que estaría compuesto de las siguientes partes:
 - Antena: Encargada de recibir y amplificar la señal recibida por los satélites.
 - Receptor: Decodifica la señal recogida por la antena para convertirla en información legible.
 - Terminal o Unidad de Control: Ordenador de campo que muestra la información transmitida por los satélites y recoge todos los datos útiles para su posterior cálculo.



Figura 11.Receptor Sokkia GRX-1.

Fuente: Brochure GRX-1.

2.18.3.1. Clasificación de Receptores GNSS Según su Aplicación

Tabla 5. Clasificación Receptores GNSS.

Método	Frecuencia	Observable	Precisión (m)	Aplicación
Absoluto	L1	Código C/A	±10	Navegación
Diferencial	L1	Código C/A	1 - 2	Cartografía
Diferencial	L1	C/A y Fase	0,01 ± 2 ppm	Topografía

Método	Frecuencia	Observable	Precisión (m)	Aplicación
Diferencial	L1,L2	C/A, P y Fase	0,005 ± 1 ppm	Geodesia

Fuente: elaboración propia.

2.18.3.1.1. Navegador

Sólo procesan datos de código C/A sobre la portadora L1. Son equipos que funcionan autónomamente, no necesitan descargar datos para conseguir la precisión menor de 10 m. Son muy sencillos de manejar, con firmware específicos para la navegación. Suelen tener accesorios para la integración con antenas sobre barcos, automóviles o motocicletas y cartografía preinstalada como TeleAtlas (TomTom) o NavTeq (Nokia). Actualmente, tienen una fuerte competencia en las aplicaciones incluidas en los SmartPhones. Su uso no suele estar relacionado con el registro de entidades cartográficas.

2.18.3.1.2. Receptores Métricos

Similares a los navegadores, existe una gama de colectores GNSS destinados al registro de datos para cartografía o SIG. La precisión nominal de estos dispositivos oscila entre 2 y 5 metros, por lo que podría ser válida para cartografías con escala inferior a 1:10000 ó 1:25000. Permiten introducir correcciones diferenciales y mejorar los datos con software en post-proceso. Asimismo, se pueden integrar en otros dispositivos topográficos como estaciones totales o tener pre-instaladas versiones móviles de aplicaciones SIG.

2.18.3.1.3. Receptores Submétricos

Son receptores GPS/GLONASS con recepción de las mismas observables que los anteriores (L1 sólo código C/A). Sin embargo, estos pueden trabajar diferencialmente, es decir, un equipo de referencia registrando datos continuamente y el equipo móvil tomando los puntos que se deseen registrar, ya sea de modo estático o bien cinemático.

Las precisiones que se pueden conseguir oscilan desde los 50 cm en tiempo real con correcciones a unos pocos centímetros en post-proceso, dependiendo del tipo de equipo que tome los datos y el programa asociado de postproceso. Las aplicaciones de estos equipos se encuadran en la cartografía y SIG a escalas entre 1:1000 y 1:5000, dependiendo de la

precisión alcanzada en los puntos. Tanto estos equipos como los anteriores incorporan las últimas tecnologías de dispositivos móviles: cámara de gran resolución, Bluetooth, conexión a Internet, pantalla táctil a color, etc.

2.18.3.1.4. Receptores Monofrecuencia de Código y Fase

Estos receptores, al igual que los anteriores, toman todos sus observables de la portadora L1 (GPS), pero con la diferencia que, además de tomar medidas de código C/A, también realizan medida de fase. Igualmente trabajan en modo diferencial, es decir, se necesitan dos receptores tomando medidas simultáneamente, referencia y móvil. La principal ventaja es el aumento de la precisión en el levantamiento de puntos.

Con estos equipos se pueden realizar posicionamientos estáticos, estático rápido, Stop&Go y cinemático. También es posible trabajar en tiempo real (RTK, por sus siglas en inglés) con la precisión que proporciona la medida de código. Las precisiones nominales para estos equipos son $1 \text{ cm} \pm 2 \text{ ppm}$, lo cual permite utilizarlos para aplicaciones topográficas. Están diseñados para realizar mediciones continuas de auscultación en obras de ingeniería o arquitectura con bajo consumo de energía.

2.18.3.1.5. Receptores Doble Frecuencia

De este tipo son los equipos que consiguen mayor precisión y, por tanto, adecuados para trabajos de Topografía y Geodesia. Toman observables de ambas portadoras emitidas por los satélites, realizando medidas de Código C/A y P en L1, de Código P en L2 y medidas de fase en L1 y L2. Como se puede apreciar, estos equipos incluyen a todos los anteriores añadiendo las medidas sobre la portadora L2.

Los posicionamientos posibles con estos equipos son estático, estático rápido, Stop&Go, cinemático y KOF (Kinematic On the Fly) como métodos de post-proceso y además la posibilidad de realizar todos estos en tiempo real. Además, pueden recibir las correcciones por medio de tecnología 3G y disponen de dispositivos con pantallas táctiles a color, donde es posible registrar gráficamente elementos cartográficos. La principal ventaja con respecto a los equipos monofrecuencia con medida de fase es un aumento en la precisión (hasta $3 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ ppm}$ en estático y $5 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ ppm}$ en tiempo real) y, sobre

todo, una enorme disminución en los tiempos de observación. Además de recibir observaciones procedentes de la constelación NAVSTAR-GPS, pueden procesar observaciones GLONASS, GALILEO, BeiDou, QZZS, EGNOS, entre otros servicios de aumento de señal y correcciones, mejorando la precisión de las coordenadas calculadas.

2.18.3.2. Tratamiento de los Datos

Para el tratamiento de los datos generalmente es necesario utilizar un programa informático específico, según la marca del instrumental, aunque cada vez es más frecuente mezclar la información registrada con diferentes receptores, y tratarla con diferentes programas. El programa de tratamiento de datos en general consta de los siguientes módulos:

- Planificación de observaciones
- Descarga de datos, incluidos los ficheros universales RINEX.
- Gestión de proyectos, como unidades de trabajo.
- Resolución de “Ambigüedades”, calculando las líneas-bases.
- Visualizar y editar los datos GPS definitivos.
- Ajuste de los datos redundantes.
- Cálculo de la transformación del sistema WGS-84 al sistema local.
- Edición de las coordenadas definitivas.

2.18.3.2.1. RINEX

La primera propuesta para el Formato de Intercambio Independiente del Receptor (RINEX, por sus siglas en inglés) fue desarrollada por el Instituto Astronómico de la Universidad de Berna para el fácil intercambio de datos GPS que se recopilaran durante la primera gran campaña europea de GPS EUREF 89, que involucró a más de 60 receptores GPS de 4 diferentes los fabricantes El aspecto gobernante durante el desarrollo fue el siguiente hecho:

La mayoría del software de procesamiento geodésico para datos GPS utiliza un conjunto bien definido de observables:

- La medición de la fase portadora en una o ambas portadoras (en realidad es una medición en la frecuencia de batido entre la portadora recibida de la señal del satélite y una frecuencia de referencia generada por el receptor).
- La medida de pseudo-rango (código), equivalente a la diferencia del tiempo de recepción (expresado en el marco de tiempo del receptor) y el tiempo de transmisión (expresado en el marco de tiempo del satélite) de una señal de satélite distinta.
- El tiempo de observación es la lectura del reloj del receptor en el instante de validez de la fase de la portadora y/o las mediciones del código.
- Datos de receptor, modelo y tipo de antena, agencia y observador.

Normalmente, el software asume que el tiempo de observación es válido tanto para la fase como para las mediciones de código, y para todos los satélites observados.

En consecuencia, todos estos programas no necesitan la mayor parte de la información que generalmente almacenan los receptores:

Necesitan fase, código y tiempo en las definiciones mencionadas anteriormente, y cierta información relacionada con la estación, como el nombre de la estación, la altura de la antena, etc. (Werner, 2007)

2.18.3.2.2. Teqc UNAVCO

Teqc es un conjunto de herramientas para resolver muchos problemas al preprocesar datos GNSS:

- Traducción: lee los archivos del receptor nativo GNSS y traduce los datos a otros formatos.
- Edición: extracción de metadatos, edición y/o corrección de metadatos del encabezado RINEX o BINEX.
- Registros de metadatos; así como el corte/empalme de archivos RINEX o BINEX
- Verificación de la calidad de los datos de GPS y/o GLONASS (observación binaria nativa, BINEX o RINEX, con o sin archivos de navegación).

Las tres funciones de las que Teqc obtiene su nombre, traducción, edición y control de calidad pueden ser realizadas por separado, en pares, o todos juntos en una sola carrera. (Steir & Stuart, 2014)

2.18.3.3.Observables GPS

Se considera que las mediciones GPS, se basan prácticamente en la medición de tiempo desde el satélite hacia el receptor, en donde la observable puede ser una fase, o un código. Dicho esto, existen formulaciones matemáticas que sirven para determinar la distancia entre un satélite y un receptor, de manera que se elimine las principales fuentes de error. Sin embargo, estas formulaciones son ayudadas con algoritmos desarrollados con la función de eliminar fuentes de error, tal como lo es el posicionamiento relativo.

Este posicionamiento consiste en obtener puntos de coordenadas desconocidas a través de la diferenciación con respecto a una coordenada conocida. Esto se describe en ecuación:

$$X_B = X_A + d_{AB};$$

$$d_{AB} = \begin{bmatrix} XB - XA \\ YB - YA \\ ZB - ZA \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta X_{AB} \\ \Delta Y_{AB} \\ \Delta Z_{AB} \end{bmatrix}$$

Ecuación 6.Ecuación de Solución de Posición por Método Diferencial.

Fuente: (Hofmman-Wellenhof, 2008).

2.18.3.4.Medida de Distancias desde los Satélites

2.18.3.4.1. Medida de Pseudodistancias

Para la solución geométrica son suficientes las mediciones de distancia a cuatro satélites, uno por cada incógnita (XYZ, tiempo). Esa distancia desde el receptor al satélite se determina por medio de una medición del tiempo de propagación del código C/A, L2C o del código P (este último de la portadora L1 o de la portadora L2).

El satélite transmite un impulso (código), este impulso contiene información adicional del instante de emisión. En el receptor se mide el momento de llegada del impulso y se lee la información contenida sobre el instante de emisión. La diferencia de tiempo multiplicada por la velocidad de propagación de la señal nos permite obtener la distancia. Esta medida se denomina “pseudodistancia”. El tiempo del retardo nos permite calcular una distancia que no es precisamente la existente, ya que no conocemos el estado del reloj del receptor, de ahí que el valor hallado no sea una distancia real sino una pseudodistancia. El método de pseudodistancias es propio de la técnica GPS. Se trata de una auténtica multilateración tridimensional que sitúa a la estación de observación, en la intersección de las esferas con centro en el satélite y radio correspondiente a la distancia entre las antenas de los satélites y el receptor, medida por este.

La pseudodistancia se podría definir como el desplazamiento temporal necesario para correlacionar una réplica del código GPS, generado en el receptor, con la señal procedente del satélite y multiplicado por la velocidad de la luz. Por tanto, el observable es un tiempo. La precisión de posicionamiento que nos ofrece este método es de aproximadamente un 1% del periodo entre sucesivas épocas de un código (se suele denominar longitud del chip). Así para el código P, cuyas épocas son de 0,1 microsegundo (por lo que la precisión de medida será de 1 nanosegundo), al multiplicar dicho factor por la velocidad de la luz, obtendremos una precisión de distancia de 30 cm. en tiempo real. Para el código C/A, cuya precisión es diez veces menor a la del código P, obtendremos unos errores de unos 3 m.

2.18.3.4.2. Ecuación de Posicionamiento por Código

$$p_i = |X_i - X_B| + cdt_u = c\tau_i = \sqrt{(X_i - X_B)^2 + (Y_i - Y_B)^2 + (Z_i - Z_B)^2} + cdt_u$$

Ecuación 7. Ecuación de Posición por Código.

Fuente: (Hofmman-Wellenhof, 2008).

Donde:

p_i = Distancia Geométrica entre el Satélite y del Receptor.

X_i = Posición Satélite.

X_B =Posición Receptor.

τ_i = Observación del Tiempo de la señal observada entre la antena del satélite y la antena del receptor.

cdt_u = Error de sincronización del reloj entre sistema de tiempo GPS y reloj de receptor.

c = Velocidad de la luz.

2.18.3.4.3. Medida de Fase

La diferencia de fase de la portadora surge de la comparación de fases entre la frecuencia de la señal portadora recibida que asumimos constante y la frecuencia de referencia generada por el receptor. Esto implica que el receptor debe generar una onda de la misma frecuencia a la del satélite para poder compararlas. Las mediciones de fase de la portadora están influenciadas por el término de la ambigüedad, ya que el observable determina solamente la fase de una longitud de onda. La ambigüedad es el número de longitudes de onda enteras que hay entre el satélite y el receptor al momento de iniciar la recepción. Ésta tiene que ser determinada con técnicas apropiadas para aprovechar el potencial de alta precisión que encierran las mediciones de fase de las señales GPS. Finalmente, teniendo fijada la ambigüedad y determinada la diferencia de fase se puede calcular la distancia entre satélite y receptor de la siguiente manera:

$$\text{seudodistancia} = \lambda \cdot (\varphi + N)$$

Siendo φ la diferencia de fase expresada en metros.

λ la longitud de onda de la portadora.

N el número entero de ciclos entre el satélite y el receptor al momento de iniciar la recepción.

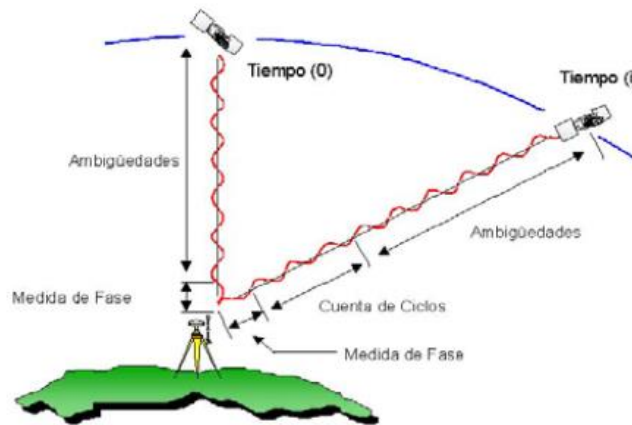


Figura 12. Posicionamiento Absoluto por Código y Fase.
Fuente: (Justel, 2013).

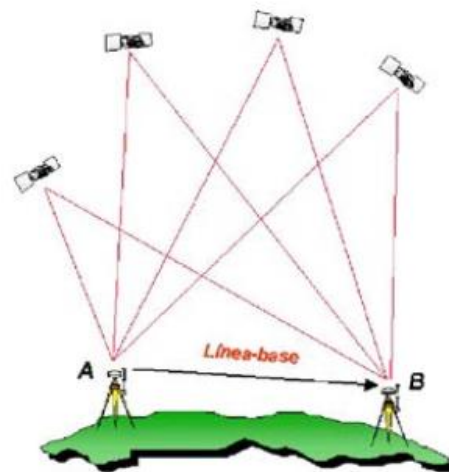


Figura 13. Posicionamiento Modalidad Estático Relativo.
Fuente: (Justel, 2013).

2.18.3.5. Combinación de Observables

Las combinaciones de observables resultan de gran importancia por su utilidad para resolver los dos problemas centrales que se presentan en el posicionamiento con fases: la resolución de ambigüedades como números enteros para períodos de observación tan cortos como sea posible y la eliminación de los efectos de la ionósfera en vectores largos.

Las características más buscadas en estas combinaciones son: ambigüedades enteras, valores grandes de longitud de onda, inmunidad al efecto ionosférico y bajo nivel de ruido. Esto hace que, de las infinitas posibilidades existentes, sólo unas pocas combinaciones de observaciones de L1 y L2, o incluso con códigos, tengan utilidad práctica. Entre ellas, las más importantes son las combinaciones libre ionósfera, banda ancha y banda corta. Una ventaja que tienen estas dos últimas combinaciones se produce a la hora del cálculo de las ambigüedades (N), ya que al pasar de las dos frecuencias L1 y L2 a una, ya sea formando la banda ancha o la banda estrecha, el cálculo de las ambigüedades es más sencillo, ya que se reduce el espacio de búsqueda de las ambigüedades. La banda corta tiene el nivel más bajo de ruido de todas las combinaciones lineales y por eso proporciona los mejores resultados. De todas formas, su ambigüedad es difícil de resolver. La banda corta se usa principalmente para distancias cortas entre estaciones.

La “combinación libre de efecto ionosférico”, o más comúnmente conocida como Lc, tiene la gran ventaja de eliminar el efecto que produce la Ionósfera sobre la señal que transmiten los satélites. Por otro lado, esta combinación tiene la desventaja de que el valor N de las ambigüedades pierde su naturaleza de número entero, por lo que se tiene que trabajar con valores reales de ambigüedad. Algunas combinaciones lineales se aproximan mucho a la señal sin efecto ionosférico, pero con ambigüedades enteras. A su vez, las longitudes de onda relacionadas son mayores que la de libre efecto ionosférico; es por ello que las ambigüedades pueden ser estimadas de manera más fácil.

2.18.3.6. Errores que Afectan la Adquisición de Datos con Receptores GNSS

2.18.3.6.1. Errores del Satélite

Error del reloj del satélite: es el desfasaje que tiene éste respecto al tiempo GPS. Este error puede eliminarse trabajando en modo diferencial o relativo.

Errores en la órbita: las efemérides o parámetros orbitales radiodifundidos por los satélites están afectados de un error a causa de que es imposible predecir exactamente sus posiciones. Estos errores se pueden eliminar trabajando con efemérides precisas (sólo utilizables en tiempo diferido o en postproceso) donde aparecen las verdaderas posiciones de los satélites (se las puede encontrar en Internet, por ejemplo). Con efemérides precisas y

el instrumental adecuado se pueden lograr precisiones de 0,5 ppm para lados de cientos de kilómetros (aplicación geodésica). Para líneas base cortas trabajando en modo diferencial se eliminan los errores relativos a los satélites, ya que afectan de igual forma a ambos receptores; pero para bases largas los errores orbitales no se eliminan del todo porque los errores que provocan en la pseudodistancia a un satélite en un punto no son los mismos que en otro punto para el mismo satélite e instante.

2.18.3.6.2. Errores Relativos a la Propagación de la Señal

Refracción ionosférica: las señales interaccionan con partículas cargadas que las retardan. Para solucionar este problema se trabaja con dos señales de diferente frecuencia. Como el retardo depende de la longitud de onda, será distinto para cada frecuencia y podremos observar un retardo diferencial, siendo este, por tanto, deducible. Si sólo se dispone de receptores monofrecuencia se puede usar un modelo de corrección ionosférica, el cual está incluido en el mensaje de navegación. El retardo ionosférico depende del ángulo de elevación del satélite, siendo menor en el cenit.

Luego de aplicar la corrección ionosférica pueden quedar errores residuales que afectan principalmente a la componente altimétrica del punto. También se elimina este error por medio de observación diferencial, en distancias cortas solamente. Para bases largas se atenúa este efecto trabajando con receptores bifrecuencia.

Refracción troposférica: este retardo es crítico para la componente de altura. Lo que se hace es modelar la estructura de la atmósfera tomando datos meteorológicos en el lugar de observación. Si se trabaja en modo diferencial, el error troposférico desaparece casi completamente para bases cortas solamente.

Pérdidas de ciclo: son causadas por la obstrucción de la señal por un árbol, edificio, etc., o también pueden ser debidas a una baja calidad señal-ruido (Signal Noise Ratio, SNR), por efecto multipath o baja elevación del satélite. Si el observable es la fase, se genera una nueva ambigüedad. Una vez determinado el tamaño de la pérdida de ciclo, se repara corrigiendo todas las observaciones de fase siguientes para ese satélite y su portadora. El software del receptor es capaz de detectar y corregir las pérdidas de ciclo.

Multipath: es causado por reflexiones de la señal emitida por los satélites en superficies cercanas al receptor, las cuales llegan a éste, además de la señal directa. El efecto multipath afecta a las mediciones de código y, en menor medida, a las de fase. El multipath se minimiza eligiendo puntos de estación protegidos de reflexiones y usando antenas con plato antirreflejo, además del uso de programas para su reducción.

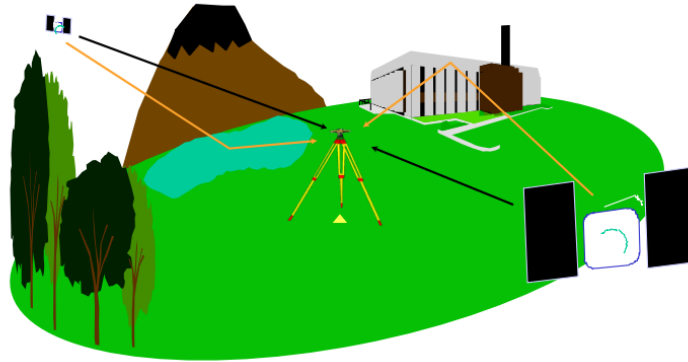


Figura 14. Error Multipath.

Fuente: (Justel, 2013).

2.18.3.6.3. Errores relativos al receptor

Error del reloj: es el desfase del reloj interno del receptor con respecto al tiempo GPS. Este error en el oscilador del receptor se elimina trabajando con posicionamiento relativo por medidas de fase.

Variación del centro eléctrico de la antena: se debe a la falta de coincidencia entre el centro radioeléctrico y el centro físico de la antena, generando un error por excentricidad. Para evitar este error en posicionamiento relativo se orientan las antenas en una dirección común.

Error en las coordenadas del punto de referencia: cada 10 m de error que tengamos en el punto base, se genera un error de una parte por millón (ppm) en el vector que se obtiene. Una manera de evitar este error es mediante la utilización de buenas coordenadas de partida.

Dilución de la precisión: el valor del DOP (siglas de Dilution of Precision) se puede interpretar como el volumen del cuerpo formado por los satélites y el receptor.

Cuanto mayor sea el volumen de este cuerpo, mejor será la geometría y menor será el valor del DOP. Dependiendo del objetivo de las observaciones se puede seleccionar con el software una configuración satelital con un valor de DOP favorable. La filosofía DOP es de mayor interés para la navegación y levantamientos cinemáticos. Para medición estática, el DOP es de menor interés, ya que un receptor moderno puede rastrear todos los satélites visibles y luego introducirlos en un proceso de ajuste.

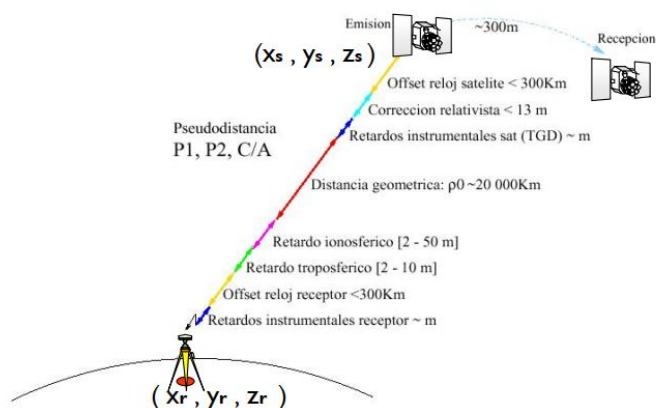


Figura 15. Errores que Afectan el Posicionamiento con GNSS.

Fuente: (Justel, 2013).

Tabla 6. Fuentes de Error en GNSS Doble Frecuencia.

Fuentes de Error	Error Típico (m)	Corrección (m)
Órbita Satélites	20	Diferencial
Reloj Satélites	10	Diferencial
Retardo Ionosférico	50	Diferencial + Doble Frecuencia
Retardo Troposférico	2,3	Modelo + Diferencial
Multi-Camino	10	Situación Antena
Reloj Receptor	10	Post-Proceso
Ruido	mm	Código

Fuente: elaboración propia.

2.18.3.7. Métodos de Posicionamiento

2.18.3.7.1. Posicionamiento Absoluto

Se realiza con un receptor y la solución surge de la intersección directa de las distancias satélite-receptor. El observable es el código C/A, pero se puede obtener el código P por post proceso. Es necesario observar al menos 4 satélites porque las incógnitas son 4 (X, Y, Z y estado del reloj del receptor). Este posicionamiento está muy afectado por errores producidos por la atmósfera y, sobre todo, por la disponibilidad selectiva. Las soluciones se suelen obtener en tiempo real y su precisión está alrededor de los 100 m. Se usan receptores de bajo costo.

2.18.3.7.2. Método Diferencial

Se realiza cuando la precisión requerida es mayor. Consiste en hallar la posición de un punto mediante observaciones realizadas desde dos puntos (uno de coordenadas conocidas) a los mismos satélites en un mismo período de tiempo. Conociendo la posición de los satélites y de un punto se puede conocer el error cometido en la determinación de la posición. Esta corrección se aplica al posicionamiento del punto desconocido, obteniendo las coordenadas precisas del mismo. Todas las observaciones efectuadas simultáneamente por dos o más receptores, durante un determinado período en el transcurso de un proyecto GPS, reciben el nombre de sesión. Aparece el concepto de línea base, que es la línea recta que une ambos puntos. Esta línea base no se obtiene en forma directa, ya que las observaciones son en los puntos base y no entre éstos, para resolver estos sistemas se recurre a las ecuaciones de simples, dobles y triples diferencias, con las que se eliminan gran parte de los errores que afectan la observación. Los observables son los códigos y las fases de las portadoras y, dependiendo del instrumental disponible y de la necesidad, se pueden mencionar distintos métodos de posicionamiento diferencial.

2.18.3.7.3. Método Estático

Este método consiste en establecer dos o más receptores en los puntos en los que se desean conocer sus coordenadas, almacenando las observaciones y calculando las coordenadas en tiempo diferido. En este tipo de posicionamiento se obtienen soluciones tan

redundantes como se deseen, tan solo prolongando el tiempo de observación. La desviación típica de una línea base es de $3 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ ppm}$.

Por tanto, se utiliza para distancias largas (por lo general mayores de 20 km) y cuando se requiere alta precisión, siendo más eficiente y económico que los métodos topográficos tradicionales. Es la medición clásica de líneas base, sustituyendo al método clásico de triangulación. Sus aplicaciones se encuentran en el control geodésico, observación de redes nacionales e internacionales, control de movimientos tectónicos y control de deformaciones en diques y estructuras. Existe una variante “rápida” para líneas base no superiores a 20 km y cuyo tiempo de observación dependerá de factores como la longitud de la línea base, número de satélites, dilución de la precisión geométrica (GDOP, por sus siglas en inglés) o ionosfera. Consiste en instalar en la estación de referencia temporal, observando y almacenando datos de todos los satélites continuamente, mientras que el receptor móvil se estaciona en el punto que se pretende levantar. Siguiendo los tiempos de observación recomendados se obtienen precisiones de $5 \text{ a } 10 \text{ mm} \pm 1 \text{ ppm}$, ver Figura 15.

2.18.3.7.4. Método Cinemático

La segunda forma de medir se denomina cinemática, debido al movimiento de uno de los receptores. En este caso, uno de los receptores denominado “referencia” se queda siempre en posicionamiento estático registrando observables y el otro receptor se irá moviendo entre los puntos a medir, por lo que se denomina “móvil”. De esta forma, el receptor móvil se podrá mover acoplado a un bastón transportado por un usuario a pie o en algún tipo de transporte como un vehículo, embarcación, avión, etc.

El receptor móvil puede ir realizando mediciones en intervalos previamente seleccionados, por ejemplo, 1, 2, 5 o 10 segundos. La precisión con la que se determina la línea base oscila entre $1 \text{ y } 3 \text{ cm} \pm 1 \text{ ppm}$ en planimetría y entre $2 \text{ y } 3 \text{ cm} \pm 1 \text{ ppm}$ en altimetría. Las aplicaciones de este tipo de posicionamiento estarían en la determinación de la trayectoria de objetos en movimiento, levantamientos topográficos en general, medición de ejes de carreteras y ferrocarriles, así como sus perfiles transversales o levantamientos hidrográficos y batimetría. Las principales ventajas son su rapidez y economía. Sin

embargo, debe mantener un contacto constante con los satélites y debe cuidarse el valor del GDOP para poder garantizar una precisión adecuada en cada punto medido.

En el nacimiento de este tipo de posicionamiento surgieron varias formas de trabajar (cinemático, Stop&Go) que requerían que se estacionara inicialmente el receptor móvil en un punto de coordenadas conocidas durante un tiempo mínimo. Posteriormente, apareció el posicionamiento KOF (Kinematic On the Fly) para equipos bifrecuencia, en el que no era necesario partir de un punto de coordenadas conocidas, sino que se comenzaba directamente en movimiento y después de 10 segundos se resolvían las ambigüedades y se utilizaban éstas para transmitir las a los puntos medidos previamente.

2.18.3.7.5. Determinación de Alturas con GNSS

En vista de la alta densidad de las redes de referencia GPS globales y regionales, la información de altura elipsoidal está disponible en el nivel de precisión centimétrica en distancias de varios cientos de kilómetros o, en algunas áreas, también varias decenas de kilómetros.

Como consecuencia, solo deben determinarse las diferencias de altura elipsoidales en distancias comparativamente cortas. Esto se puede lograr con precisión centimétrica aplicando un modelado de error cuidadoso. Para distancias de hasta varias decenas de kilómetros, se puede obtener incluso una precisión de subcentímetro. Las principales limitaciones para la altimetría precisa del GPS provienen obviamente de:

- Modelado del error vertical, y
- Requiere de un Geoide Preciso.

El error vertical se rige principalmente por el retardo de propagación troposférica y las Variaciones del Centro de Fase de la antena (PCV, por sus siglas en inglés). PCV, retraso y el componente de altura están fuertemente correlacionados entre sí. El PCV absoluto se puede determinar a través de la calibración. El retraso troposférico se puede separar del componente de altura, cuando se estima un sesgo de escala troposférica a partir de varias horas de observaciones, incluidas mediciones en ángulos de elevación bajos. Sin embargo, la troposfera sigue siendo un factor crítico cuando se requiere la mayor precisión

en la altimetría GPS. Los modelos geoidales alcanzan el nivel de precisión de unos pocos centímetros, como puede verificarse en comparación con la nivelación GNSS.

2.18.3.8. Software de Procesamiento de Datos GNSS

2.18.3.8.1. SOKKIA Spectrum Survey Office

Es un programa de post-procesamiento comercial. Spectrum Survey Office proporciona un entorno con todas las funciones para procesar y ajustar las observaciones de campo creadas con la familia de instrumentos SOKKIA. Dependiendo del módulo comprado, Spectrum Survey Office procesa sus observaciones Terrestres, observaciones de RTK y observaciones de GPS posteriores a la adquisición, además permite la combinación de las tres.

2.18.3.8.2. RTKLIB

RTKLIB es un paquete de programa de código abierto para el posicionamiento estándar y preciso con GNSS. RTKLIB consiste en una biblioteca de programas portátil y varios AP (programas de aplicación) que utilizan la biblioteca. Las características de RTKLIB son:

- Es compatible con algoritmos de posicionamiento estándar y preciso con:
GPS, GLONASS, Galileo, QZSS, BeiDou y SBAS
- Es compatible con varios modos de posicionamiento con GNSS tanto en tiempo real como posterior al procesamiento:
Sencillo, DGPS/DGNSS, cinemático, estático, línea de base móvil, fijo, PPP-cinemático, PPP-estático y PPP-fijo
- Es compatible con muchos formatos y protocolos estándar para GNSS:
RINEX 2.10, 2.11, 2.12 OBS/NAV/GNAV/HNAV/LNAV/QNAV, RINEX 3.00, 3.01, 3.02 OBS/NAV, RINEX 3.02 CLK, RTCM ver.2.3, RTCM ver.3.1 (con enmienda 1-5), ver .3.2, BINEX, NTRIP 1.0, RTCA/DO-229C, NMEA 0183, SP3-c, ANTEX 1.4, IONEX 1.0, NGS PCV y EMS 2.0.
- Es compatible con varios mensajes de propiedad de los receptores GNSS:

NovAtel: OEM4/V/6, OEM3, OEMStar, Superstar II, Hemisferio: Eclipse, Media Luna, u-blox: LEA-4T/5T/6T, SkyTraq: S1315F, JAVAD: GRIL / GREIS, Furuno: GW-10 II / III y NVS NV08C BINR.

- Es compatible con la comunicación externa a través de: Serie, TCP/IP, NTRIP, archivo de registro local (grabación y reproducción) y FTP/HTTP (descarga automática)

- Proporciona muchas funciones de biblioteca y API para el procesamiento de datos GNSS:

Funciones de satélites y sistemas de navegación, funciones matriciales y vectoriales, funciones de tiempo y cadena, transformación de coordenadas, funciones de entrada y salida, funciones de rastreo de depuración, funciones dependientes de la plataforma, modelos de posicionamiento, modelos de atmósfera, modelos de antena, modelos de mareas terrestres, modelos de geoides, transformación de datum, funciones RINEX, funciones de efemérides y reloj, funciones precisas de efemérides y reloj, funciones de datos brutos del receptor, funciones RTCM, funciones de solución, convertidor KML de Google Earth, funciones SBAS, funciones de opciones, funciones de entrada y salida de datos de flujo, resolución de ambigüedad de enteros, posicionamiento estándar, posicionamiento preciso, posicionamiento posterior al procesamiento, funciones de servidor de flujo, funciones de servidor RTK y funciones de descarga.

2.18.3.8.3. gLAB GNSS Analysis Tool

gLAB es un paquete de herramientas de software desarrollado bajo un contrato de la Agencia Espacial Europea (ESA, por sus siglas en inglés) y por el grupo de investigación de Astronomía y Geomática (GAGE) de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), es un paquete educativo interactivo de usos múltiples para procesar y analizar datos GNSS.

gLAB realiza un modelado preciso de observables GNSS (pseudorange y fase portadora) a nivel de centímetro, lo que permite el posicionamiento GPS autónomo y PPP (Posicionamiento de Punto Preciso). Cada contribuyente de error puede ser evaluado de forma independiente, lo que, a su vez, proporciona un beneficio educativo importante.

gLAB está adaptado a una variedad de formatos estándar, como los archivos RINEX-3.00, SP3, ANTEX y SINEX, entre otros. Además, la funcionalidad también se incluye para GPS, Galileo y GLONASS, lo que permite realizar algunos análisis de datos con datos reales de constricciones múltiples

2.18.3.9. Servicios de Procesamiento en Línea de Señales GNSS

2.18.3.9.1. AUSPOS

Es el servicio de posicionamiento GPS estático en línea de Geoscience Australia, que proporciona acceso del usuario a un sistema de análisis de vanguardia a través de una sencilla interfaz web y permite trabajar con datos recogidos en cualquier parte de la Tierra. AUSPOS aprovecha tanto la Red de Estaciones IGS (International GNSS Service, por sus siglas en inglés) como la gama de productos IGS. El software científico utilizado para el procesamiento es el Bernese GNSS Version 5.2. Desde su lanzamiento en 2001, AUSPOS ha sido una herramienta ampliamente utilizada para el procesamiento en línea de datos GPS geodésicos para la topografía, cartografía, geodesia, geofísica, hidrografía, minería, construcción, militares y otras aplicaciones. AUSPOS entrega coordenadas precisas a los usuarios en 3 a 5 minutos y tiene una incertidumbre de coordenadas más realista en sus soluciones.

El método de evaluación de la incertidumbre se basa en la duración de un conjunto de datos y la densidad de la red de estaciones de referencia. Los usuarios envían sus datos GPS RINEX (no se necesitan datos de navegación, el tiempo mínimo de observación es de una (1) hora) de calidad geodésica de doble frecuencia observados en un modo 'estático' al sistema de procesamiento de datos GPS. Un informe de AUSPOS es enviado por correo electrónico (a menudo en menos de 5 minutos) que contiene las coordenadas del ITRF.

El servicio tiene como objetivo ayudar a una variedad de usuarios del sector privado y público que requieren coordenadas. Esto incluye personas que realizan proyectos como:

- Posicionamiento de estación de referencia DGPS.
- Posicionamiento remoto de estación GPS.
- Posicionamiento de línea de base GPS ultra-largo.
- Posicionamiento GPS vertical de alta precisión.

- Control de calidad de red GPS.

2.18.3.9.2. Canadian Geodetic Survey of Natural Resources Canada CSRS

Es una aplicación en línea para el post-procesamiento de datos GNSS que permite a los usuarios calcular posiciones con alta precisión a partir de sus datos de observación sin procesar.

CSRS-PPP utiliza las efemérides precisas de órbita de satélites GNSS producidas diariamente para calcular coordenadas corregidas de una precisión "absoluta" constante, independientemente del lugar en que se encuentre en el globo y de la proximidad a estaciones base conocidas.

El ITRF específico utilizado por CSRS-PPP es la realización del Servicio Internacional GNSS (IGS) en la época para la cual se calcularon las efemérides precisas de la órbita GNSS. Los usuarios pueden enviar datos de observación RINEX de receptores de una o dos frecuencias que operan en modo estático o cinemático a través de Internet y obtener las precisiones de posicionamiento mejoradas en el Sistema de Referencia Espacial Canadiense (CSRS, acrónimo en inglés) y en el ITRF.

El post-procesamiento de CSRS-PPP se puede realizar de dos modos: receptor estático (receptor fijo GNSS) o cinemático (receptor móvil GNSS). El procesamiento de datos de trabajos estáticos genera un punto individual promedio corregido. El procesamiento de datos de trabajos cinemáticos genera una trayectoria corregida. La herramienta de post-procesamiento en línea de CSRS-PPP utiliza las mejores efemérides disponibles (FINAL, RAPID o ULTRA-RAPID).

- FINAL (± 2 cm): disponible en 13 días
- RAPID (± 5 cm): disponible al día siguiente
- ULTRA RAPID (± 15 cm): disponible cada 90 minutos (no disponible para descargar)

2.19. Modelo Vemos 2015

El modelo de velocidades para SIRGAS VEMOS2015 fue calculado a partir de mediciones GNSS (GPS+GLONASS) registradas después de los fuertes terremotos ocurridos en Chile y México en 2010. Este modelo se apoya exclusivamente en la solución

multianual SIR15P01, la cual incluye 456 estaciones GNSS de operación continua y cubre el intervalo de tiempo entre marzo 14 de 2010 y abril 11 de 2015. VEMOS2015 se extiende desde 55°S, 110°W hasta 32°N, 35°W con una resolución espacial de 1° x 1°. La incertidumbre media de la predicción es ± 0.6 mm/a en la dirección norte-sur y $\pm 1,2$ mm/a en la dirección este-oeste. La incertidumbre máxima es ± 9 mm/a en la zona de deformación de Maule (Chile) y la mínima es $\pm 0,1$ mm/a en la parte estable de la placa suramericana.

2.20. Redes Geodésicas

Según Helmut Wolf (1981), una red geodésica es un conjunto de puntos seleccionados, los cuales están conectados por medio de relaciones físicas o geométricas, como expresadas por observaciones sobrantes o ciertas funciones de las cantidades observadas. El propósito es la determinación de todos los parámetros que describen al modelo elegido para representar la realidad física o geométrica de la figura de la Tierra y el campo gravitatorio.

2.20.1. Red Geodésica Clásica

Es un conjunto de puntos sobre la superficie terrestre, que comprende la definición de un sistema de referencia, su localización sobre la superficie y las coordenadas de dichos puntos con respecto al sistema de referencia, sin tomar en cuenta la variable tiempo.

La Red Geodésica Clásica es una red estática.

La Red Geodésica Clásica considera la compensación horizontal (X, Y) y vertical (Z) separadamente. La compensación horizontal es realizada sobre la superficie de un elipsoide de referencia, usando los modelos desarrollados por Helmert (1980) y H. Wolf (1949) en términos de coordenadas geográficas.

2.20.2. Red Geodésica Horizontal

2.20.2.1. Red de Triangulación

Es aquella red en la cual se miden los ángulos de los triángulos formados y sólo se mide la distancia (base) para darle escala y el acimut para darle la orientación a la red. La medición característica son los ángulos.

2.20.2.2.Red de Trilateración

Es aquella red horizontal en la cual se miden los lados de los triángulos formados y sólo se miden los acimutes para darle orientación a la red. La medición característica son los lados de los triángulos formados.

2.20.2.3.Red de Triangulateración

Es aquella red horizontal en la cual se miden los lados y los ángulos de los triángulos formados y sólo se miden los acimutes para darle la orientación a la red. Las mediciones características son los lados y ángulos de los triángulos formados.

2.20.2.4.Redes Híbridas

Es aquella red horizontal en la cual sólo se miden algunos lados y ángulos de los triángulos formados y solo se miden los acimutes para darle la orientación a la red. Las mediciones necesarias son la de algunos lados y ángulos de los triángulos formados.

2.20.2.5.Red Geodésica Moderna

Es una totalidad de aspectos económicos, operacionales y técnicos, vinculados con la configuración geométrica de puntos sobre la superficie de la Tierra a determinarles su posición relativa y/o absoluta con respecto a un sistema de coordenadas de referencia preestablecido, considerando o no la variación de la posición de los puntos con respecto al parámetro tiempo.

La red geodésica moderna puede ser estática o dinámica.

Para la compensación se usan los modelos desarrollados por Fubara (1972), Vincenty (1973), Bursa (1967), Anderle (1974), etc.

2.21. Software de Ajuste de Redes Geodésicas

2.21.1. JAG3D

JAG3D (Java Applied Geodesy 3D) es uno de los paquetes de software de código abierto que realiza ajustes por cuadrados mínimos más populares para las ciencias

geodésicas. La aplicación se distribuye bajo los términos de la Licencia Pública General de GNU (versión 3). JAG3D está diseñado para combinar observaciones terrestres híbridas como nivelación, direcciones, distancias o ángulos verticales en un modelo matemático uniforme y riguroso. Además, se admiten las líneas de base GNSS que se derivan de las técnicas del GNSS. Las observaciones terrestres, así como las líneas de base GNSS se combinan durante un proceso de ajuste único. El software admite redes de nivelación pura, redes horizontales y redes espaciales, pero también redes combinadas multidimensionales. Las observaciones espaciales no se dividirán en dos partes, es decir, un componente de altura y su componente horizontal. Por lo tanto, las dependencias matemáticas entre los componentes de coordenadas serán consideradas rigurosamente.

2.21.2. Columbus 3.8

Columbus es un paquete de software de ajustes de red, pre-análisis de redes y transformación de coordenadas de una, dos y tres dimensiones que le permite crear, editar, resolver y analizar, redes verticales, redes geodésicas, sistemas planos estatales, proyecciones personalizada, UTM y NEE (norte, este, elevación) local; medidas en cualquier parte del mundo, además Columbus acepta observaciones terrestres y de GPS para definir redes.

CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

Cuando se define el tipo de trabajo de investigación a realizar es importante tomar en cuenta la finalidad de la misma, los objetivos que se esperan alcanzar y el nivel de profundidad con el cual se desarrollará el proyecto, todo esto quedará expuesto en el diseño, tipo y nivel de investigación.

3.1. Diseño y Modalidad de la Investigación

El diseño de la investigación consiste en trazar un modelo conceptual y operativo que nos permita confrontar las ideas e hipótesis con hechos empíricos, su objeto es proporcionar un modelo de verificación que permita contrastar hechos con teorías, y su forma es la de una estrategia o plan general que determina las operaciones necesarias para hacerlo. En la presente investigación se utilizó un diseño experimental ya que se utilizaron condiciones específicas para determinar la variación de los resultados estableciendo una relación causa-efecto. Según Fideas Arias, *“La investigación experimental es un proceso que consiste en someter a un objeto o grupo de individuos, a determinadas condiciones, estímulos o tratamiento (variable independiente), para observar los efectos o reacciones que se producen (variable dependiente)”* (Arias, 2012).

En el caso de estudio se realizaron mediciones GNSS de vértices pertenecientes a la Red Topográfica Local de la Ciudad Universitaria de Caracas (CUC), la cual esta materializada en los techos de distintas edificaciones del campus, la misma fue densificada al sector “tierra de nadie” y las coordenadas fueron verificadas en escala utilizando una estación total. Adicionalmente, se aplicó la metodología planteada, para la conversión de la cartografía de la CUC del sistema plano local Loma Quintana a REGVEN.

Respecto al tipo de investigación, este trabajo califica como una investigación de campo y documental, Según Fideas Arias, *“La investigación de campo es aquella que consiste en la recolección de datos directamente de los sujetos investigados, o de la realidad donde ocurren los hechos (datos primarios), sin manipular o controlar variable*

alguna, es decir, el investigador obtiene la información pero no altera las condiciones existentes”, “La investigación documental es un proceso basado en la búsqueda, recuperación, análisis, crítica e interpretación de datos secundarios, es decir, los obtenidos y registrados por otros investigadores en fuentes documentales: impresas, audiovisuales o electrónicas. Como en toda investigación, el propósito de este diseño es el aporte de nuevos conocimientos” (Arias, 2012); Carlos Sabino dice, “El principal beneficio que el investigador obtiene mediante una indagación bibliográfica es que puede incluir una amplia gama de fenómenos, ya que no sólo tiene que basarse en los hechos a los cuales él tiene acceso de un modo directo sino que puede extenderse para abarcar una experiencia inmensamente mayor. Esta ventaja se hace particularmente valiosa cuando el problema requiere de datos dispersos en el espacio, que sería imposible obtener de otra manera” (Sabino, 1992).

En este sentido, la investigación *“Metodología para la Conversión de Coordenadas entre Sistemas de Posicionamiento Terrestre Global y Sistemas de Posicionamiento Local (LPS)”*, puede ser clasificada de campo al haberse realizado mediciones con receptores GNSS y con Estación Total, y a su vez como documental, al comparar los resultados obtenidos con resultados de distintas investigaciones científicas, textos técnicos y normativas relacionados con el fenómeno que se está evaluando.

3.2. Esquema Metodológico

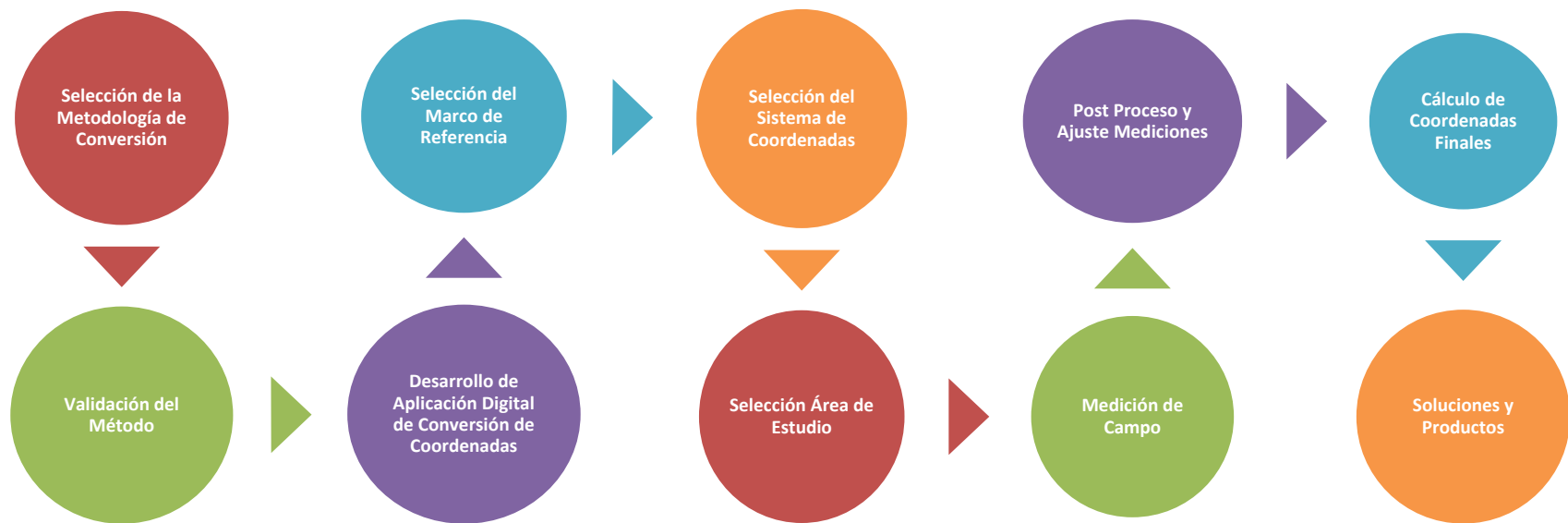


Figura 16. Esquema Metodológico.

Fuente: elaboración propia.

3.3. Definición de la Metodología

3.3.1. Recopilación de Material Bibliográfico

La primera fase de desarrollo de este trabajo consistió en la recopilación de tesis, artículos especializados y normas técnicas (Ver Marco Referencial), en los cuales se proponen métodos de conversión de coordenadas entre sistemas locales y sistemas globales, y se evaluarán la calidad de cada procedimiento, en este sentido se evaluaron trabajos y normas de Brasil, Colombia, Alemania, Suiza y de nuestro país así como la norma de Conversión y Transformación de Coordenadas de la Organización Internacional de Países Productores de Gas y Petróleo (IOGP, por sus siglas en inglés).

3.3.2. Selección del Método de Conversión

La selección del método más adecuado de conversión de coordenadas, se fundamentó en lograr realizar la vinculación del **Sistema de Posicionamiento Local (LPS)** con el **Marco de Referencia Nacional**, manteniendo así la jerarquización de los marcos de referencia, esto con mínimas desviaciones y garantizando precisiones que permitan el uso de estas coordenadas en obras de ingeniería y catastro. Siendo esto un factor fundamental, ya que una de las metas del Sistema de Observación Geodésica Global (GGOS), plantea la importancia de la geodesia y la necesidad de una estructura geodésica de precisión, en el desarrollo de las naciones. Además, se consideró el límite en distancia de cada método (tomando en cuenta la distancia desde el origen a cada uno de los puntos), y las diferencias de elevaciones afectan la conversión y su exactitud.

En este sentido se evaluaron las características y la capacidad de la conversión de coordenadas propuesta en la Norma NBR 14166, la transformación Lineal Conforme 2D, el uso de la proyección Cassini-Soldner, y las ecuaciones conversión de coordenadas Geocéntricas–Topocéntricas publicada en el manual “**Geomatics Guidance Note 7, part 2 Coordinate Conversions & Transformations including Formulas**” de la IOGP, estos métodos fueron seleccionados de manera preliminar tomando en cuenta su capacidad para vincular coordenadas en un sistema plano con el marco de referencia nacional y la calidad con la que mantienen la escala.

Como estrategia de elección se elaboró una doble entrada de selección asignando un mayor porcentaje a la vinculación al ITRF y la deformación de las distancias representando esta la escala de las mediciones GNSS, obteniendo el siguiente resultado:

Tabla 7. Criterios y Evaluación por Método.

Método \ Criterio	Alcance Máximo	Diferencia de Elevación Máxima	Vinculación ITRF	Deformación de Distancias
NBR 14166	50 km	150 m	Directo	No
Helmert 2D	No Limita	No Involucra Alturas	Requiere Conversión.	No
Cassini-Soldner	No Limita	No Involucra Alturas	Requiere Conversión	Depende de la Distancia
Geocéntricas-Topocéntricas	70 km	No Limita	Si	No

Fuente: elaboración propia.

Tabla 8. Puntaje para cada Parámetro de Evaluación.

Puntaje \ Parámetro	4	3	2	1
Alcance Máximo	70 km	50 km	30 km	20 km
Diferencia de Nivel Máximo	No Limita	Limita	-	No Involucra Alturas
Vinculación ITRF	Directo	-	Requiere Conversión	No
Deformación de Distancias	No	Depende del Desnivel	Depende de la Distancia	Si

Fuente: elaboración propia.

El puntaje fue ponderado asignando un valor de cuatro (4) a la condición más favorable y uno (1) a la más desfavorable, asignando estos según los principios de la escala de Likert.

Tabla 9. Matriz de Decisión.

	Alcance Máximo	Diferencia de Nivel Máximo	Vinculación ITRF	Deformación de Distancias	Total
NBR 14166	3	3	4	3	13
Helmert 2D	4	1	2	4	11
Cassini-Soldner	3	1	2	2	7
Geocéntricas- Topocéntricas	4	4	4	4	16

Fuente: elaboración propia.

El resultado de la matriz de decisión, indica que la metodología para la conversión de coordenadas que se adapta mejor a las necesidades planteadas en esta investigación, **son las ecuaciones de conversión de coordenadas Geocéntricas a Topocéntricas**, propuestas en el manual **“Geomatics Guidance Note 7, part 2 Coordinate Conversions & Transformations including Formulas”**, **Paginas 99-102, Año 2018.** (IOGP, 2018), por lo que fueron seleccionadas para el desarrollo de esta investigación.

3.4. Esquema de Conversión de Coordenadas

Luego de seleccionar la estrategia de conversión de coordenadas, es necesario plantear un flujo de trabajo para ejecutar la conversión de manera consistente, manejando los sistemas de coordenadas más comunes en la ejecución de trabajos con técnicas modernas de medición y que sea fácil de entender para los usuarios de esta metodología, este se presenta a continuación:

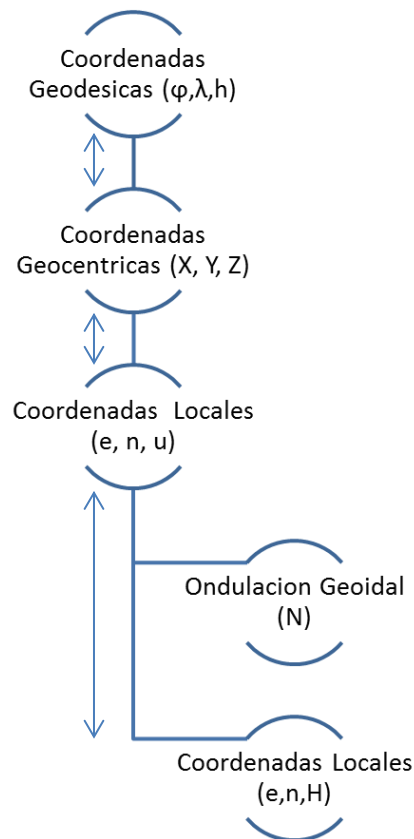


Figura 17. Esquema de Conversión de Coordenadas.

Fuente: elaboración propia.

3.5. Validación del Método Seleccionado

Una vez seleccionadas las ecuaciones de conversión de coordenadas publicadas por la **IOGP (Geocentrics/Topocentric, código EPSG 9836)** en su documento técnico **“Geomatics Guidance Note 7, part 2 Coordinate Conversions & Transformations including Formulas”**, se realizó la validación comparando las coordenadas obtenidas con coordenadas fijas y las distancias obtenidas a partir de las coordenadas con distancias medidas y distancias reducidas, esto con el objetivo de evaluar el efecto que tiene la calidad de la red, el desnivel entre los vértices y los métodos de medición en la obtención de coordenadas precisas con el método seleccionado. Para el análisis se utilizó la desviación estándar representada por la letra griega **sigma (σ)**, como indicador estadístico para evaluar la calidad.

Los datos seleccionados para evaluar la calidad del método de conversión de coordenadas fueron:

- La Red Municipal de Santa María, Estado Rio Grande do Sul, Brasil, cuyas coordenadas locales fueron obtenidas a través de la metodología propuesta en la **Norma NBR 14166**, para la definición de un Plano Topográfico Local (PTL) y estas fueron comparadas con las obtenidas utilizando la estrategia de conversión seleccionada:

Tabla 10. Diferencias Coordenadas Fijas de la Red - Coordenadas Convertidas con el Método Seleccionado.

ID	Puntos Convertidos		Vértices Red Brasil		Dif. E (m)	Dif. N (m)
	E (m)	N (m)	E (m)	N (m)		
UFSM-019	158208,6350	246605,9579	158208,6350	246605,9580	0,0000	-0,0001
UFSM-M003	158480,0530	246651,6651	158480,0530	246651,6650	0,0000	0,0001
IBGE-1792G	160525,8070	248089,5919	160525,8080	248089,5920	-0,0010	-0,0001
PMSM-M20	156146,7069	247644,7555	156146,7070	247644,7550	-0,0001	0,0005
PMSM-M19	158512,3861	248070,9328	158512,3860	248070,9330	0,0001	-0,0002
PMSM-M10	145274,5733	247569,7992	145274,5740	247569,7990	-0,0007	0,0002
PMSM-M07	143176,1679	247518,4876	143176,1680	247518,4880	-0,0001	-0,0004

Fuente: elaboración propia.

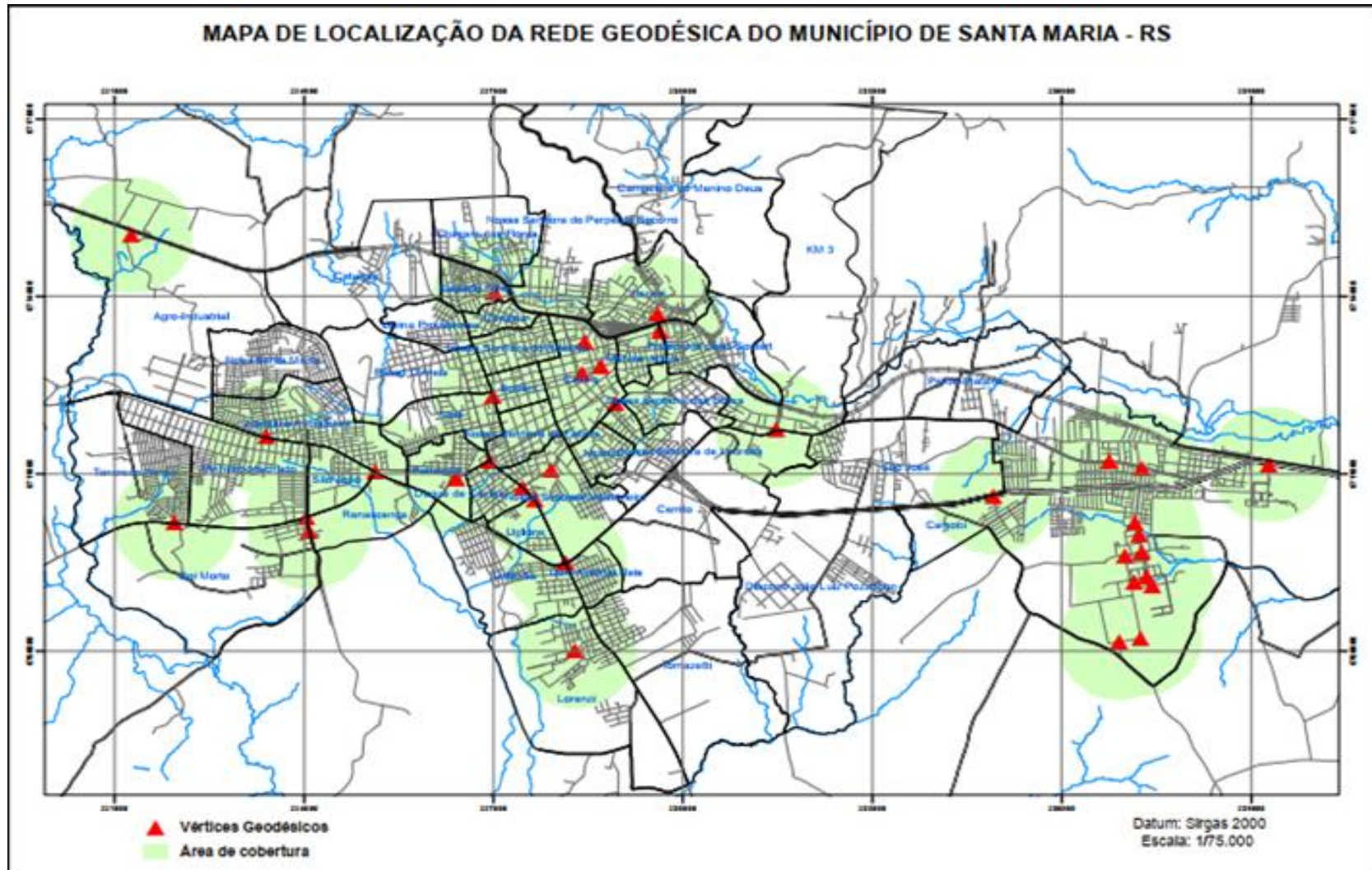




Figura 18. Red Municipal de Santa Maria, Município Rio Grande do Sul.

Fuente: www.santamaria.rs.gov.br

	Estado do Rio Grande do Sul Prefeitura Municipal de Santa Maria Rede Geodésica Municipal Monografia de Marco Geodésico	
---	---	---

Marco Geodésico: PMSM-M17	Receptor: Sokkia GRX1	Data de ocupação: Jan / 2011
Localização: O Marco Geodésico PMSM-M17 está localizado no recuo de jardim do prédio do Centro Administrativo – Prefeitura Municipal de Santa Maria, na Rua Venâncio Aires nº 2.277, Bairro Centro.		
Descrição da Materialização: Marco de concreto no formato tronco piramidal, enterrado no solo com base de proteção de concreto, contendo no topo uma chapa de bronze onde está estampado o número do marco.		

B I R G A C O O	COORDENADAS ELIPSOIDIAIS		PRECISÕES (m)		COORDENADAS NO PLANO TOPOGRÁFICO LOCAL	
	Latitude (φ) = 29° 41' 06,42220" S		δ (φ) = 0,002		X (m) = 150.000,000	
	Longitude (λ) = 53° 48' 12,19003" W		δ (λ) = 0,002		Y (m) = 250.000,000	
	Altitude (h) = 135,835 m		δ (h) = 0,007		ALTITUDE ORTOMÉTRICA (H) – Datum Imbituba - SC	
	COORDENADAS PLANAS UTM (m)				H (m) = 126,325	
	N = 6.712.816,961		E = 228.714,791		Fonte: MAPGE0 2010	
	Meridiano central: 51° W				CONEXÃO: Considerações: - Foi utilizado o marco PMSM-M17 situado em frente ao Centro Administrativo como origem do Plano Topográfico Local (Xo = 150.000,00; Yo = 250.000,00). - As altitudes ortométricas possuem diferentes níveis de precisão, de acordo com a fonte de sua determinação: MAPGE0 2010 (± 7cm) e nivelamento geométrico (± 2mm)	
	Fator K: 1,000506000		Conv. Meridiana: 01° 23' 21,044897"			
	COORDENADAS PLANAS LTM (m)					
	N = 1.714.769,212		E = 170.635,453			
Meridiano central: 53° 30' W						

Foto



Croqui de Localização




Execução:  Engenharia & Geomática	Equipe Técnica: - Tec. em Geom. Guilherme Coelho de Pellegrini - Tec. em Geom. Sidiano Stefanillo Batista - Tec. em Geom. Ricardo Leal Cruz Resp. Técnico: Eng.º Agr. e Tec. em Geom. Antônio Langendorf
--	--

Figura 19. Monografia de Vértice Origen PMSM-M17.

Fuente: www.santamaria.rs.gov.br

- Las coordenadas del “Test of Network Stuttgart Central” de la página 87 del libro *Solving Algebraic Computational Problems in Geodesy and Geoinformatics* del Dr. Erick W. Grafarend y el Dr. Joseph L. Awange, a partir de la cual se calcularon las distancias reducidas al plano y se compararon con las distancias obtenidas a partir de las coordenadas locales calculadas con la estrategia seleccionada, obteniendo el siguiente resultado:

Tabla 11. Diferencias entre la Distancia Obtenida por Coordenadas - Distancia Plana.

Vértice	Dist. Coordenadas (m)	Dist. Plano (m)	Diferencia
K1-Schlobplatz	563,722	563,725	-0,003
K1-Haubmannstr	1324,226	1324,225	0,001
K1-Eduardpfeiffer	541,172	541,170	0,001
K1-Lindenumuseum	361,809	361,810	-0,001
K1-Liederhalle	427,972	427,973	-0,002
K1-Dach LVM	400,401	400,402	0,000
K1-Dach FH	267,747	267,748	-0,001

Fuente: elaboración propia.

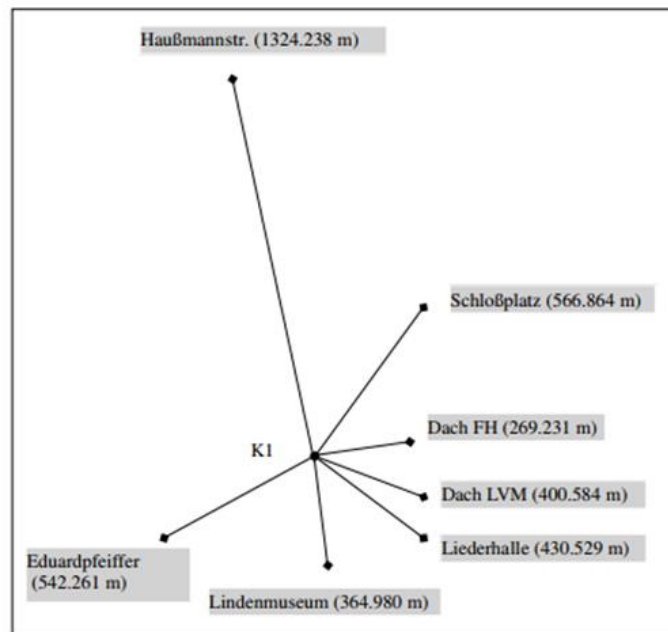


Figura 20. Red Stuttgart Central.

Fuente: (Grafarend & Awange, 2005)

- Las distancias medidas en campo y las coordenadas presentadas en el TEG *“Establecimiento de una Red Geodésico-Topográfica en la Ciudad Universitaria de Caracas U.C.V”* bajo la Tutoría del Dr. Luis M. Liberal. Estos datos permitieron validar la correlación entre mediciones con técnicas clásicas y técnicas modernas comparando las distancias entre los vértices medidas con un distanciómetro electrónico Wild DI1600, con las distancias obtenidas a partir de las coordenadas calculadas con la estrategia seleccionada, de esta comparación se obtuvo:

Tabla 12. Comparación de Distancias desde Economía.

Origen	Vértice	Tesis (m)	Coordenadas (m)	Diferencias (m)
ECONOMÍA	CLÍNICO	629,517	629,524	-0,007
	ESTRUCTURAL	469,436	469,443	-0,007
	HIDRO	333,539	333,533	0,006

Fuente: elaboración propia.

Tabla 13. Comparación de Distancia Clínico-Hidrometeorología.

Origen	Vértice	Tesis (m)	Coordenadas (m)	Diferencias (m)
CLÍNICO	HIDRO	881,051	881,054	-0,003

Fuente: elaboración propia.

Tabla 14. Comparación de Distancias Estructural-Hidrometeorología.

Origen	Vértice	Tesis (m)	Coordenadas (m)	Diferencias (m)
ESTRUCTURAL	HIDROLOGÍA	612,428	612,418	0,010

Fuente: elaboración propia.

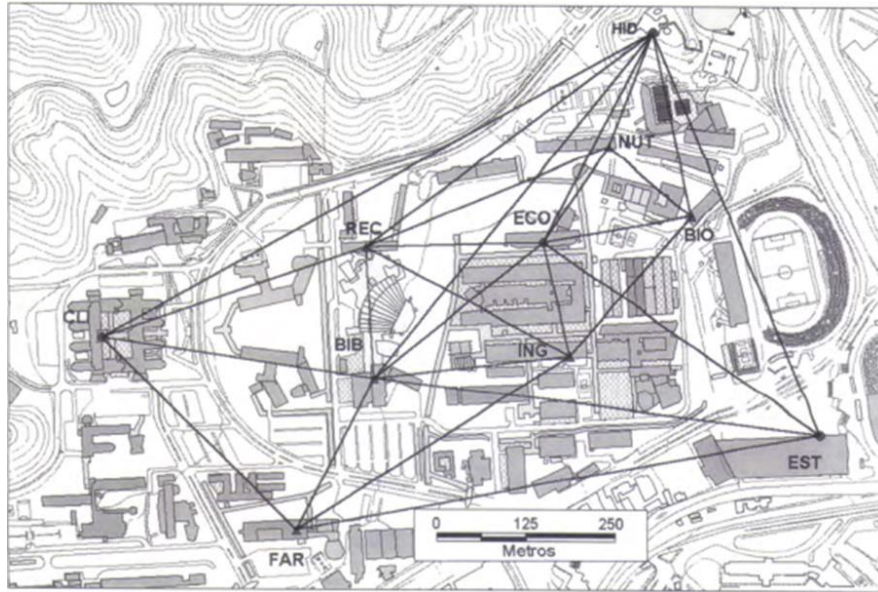


Figura 21. Red Geodésico - Topográfica de la UCV.

Fuente: (Liberal, 2006).

3.6. Desarrollo de Aplicación Digital para la Conversión de Coordenadas de Sistema Terrestre Global a un Sistema Local de Posicionamiento (LPS) y Viceversa.

Una vez seleccionado y validado el método de conversión de coordenadas a utilizar en este trabajo especial de grado, se desarrolló la aplicación digital **GeoLocalConvert**, utilizando el compilador de Delphi 9.0 Open Source, Lazarus, esta aplicación fue programada utilizando doble precisión y fue validada utilizando los datos antes mencionados.

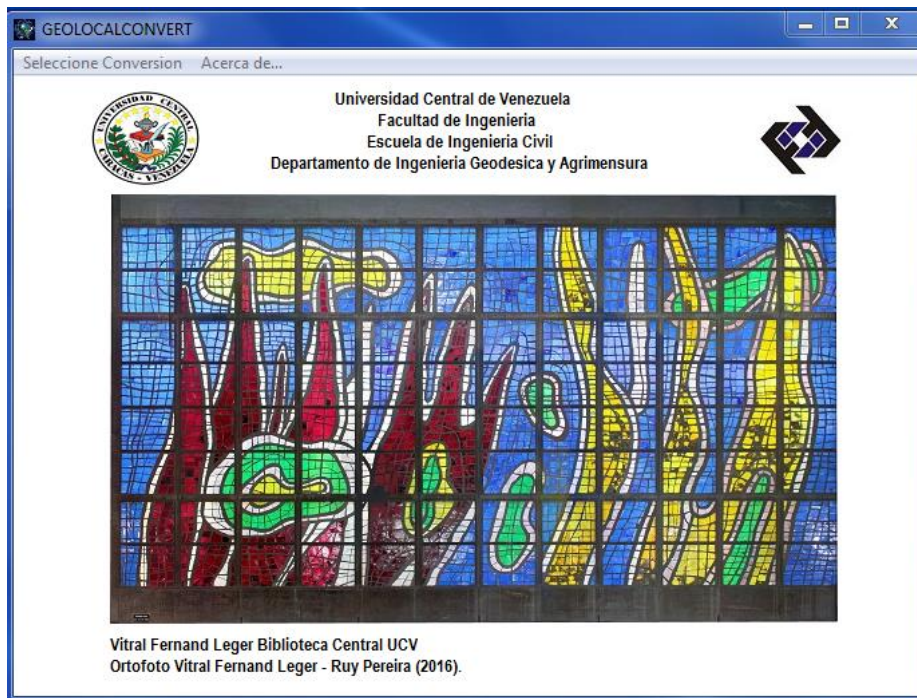


Figura 22. Ventana Principal GeoLocalConvert.

Fuente: elaboración propia.

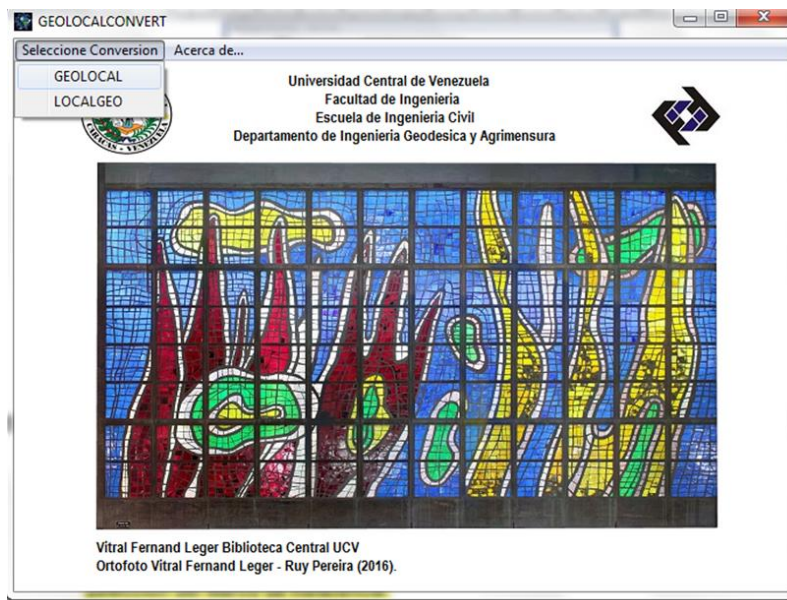


Figura 23. Menú de Selección de Conversión de Coordenadas.

Fuente: elaboración propia.

GEOLOCAL

Elipsoides ?

Parametros Elipsoide

a f

Origen Local

Este Norte Cota

Coordenadas Geodesicas Origen

g m s h

Latitud g m s

Longitud g m s

Coordenadas Geodesicas Punto a Calcular

g m s h

Latitud g m s

Longitud g m s

Coordenadas Calculadas

Este Norte Cota

Calcular

Limpiar

Desarrollador Ruy Pereira






Figura 24. Ventana Conversión Geodésicas - Locales.

Fuente: elaboración propia.

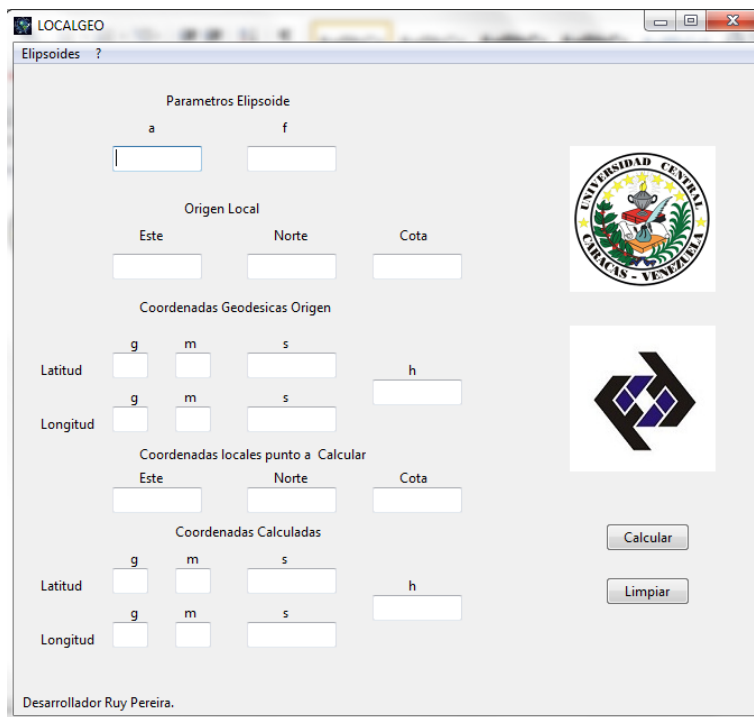


Figura 25. Ventana Conversión Locales-Geodésicas.

Fuente: elaboración propia.

3.7. Selección del Marco de Referencia

3.7.1. Marco de Referencia Global

Desde el 29 de enero del año 2017, inicio de la semana GPS 1934, el IGS adoptó la solución “sólo GNSS” del ITRF14, para la generación de todos sus productos precisos y las calibraciones de las antenas, lo que se traduce en que todas las coordenadas obtenidas a partir de mediciones con receptores GNSS y las cuales sean pos-procesadas utilizando productos del IGS estarán referidas al ITRF14.

En el desarrollo de este trabajo el pos-proceso de los datos adquiridos en campo fue realizado utilizando efemérides finales y calibraciones de antenas del IGS, por lo tanto, la solución obtenida está referida al ITRF14 vigente para la época.

3.7.2. Marco de Referencia Continental

Desde el año 1995 Venezuela, forma parte activa en la iniciativa SIRGAS como materialización del Marco de Referencia en América del Sur, esto motivó a realizar la vinculación del vértice G-2 ubicado en el área denominada “*tierra de nadie*” en la CUC

con SIRGAS a través de las estaciones MANA (ubicada en Managua, Nicaragua) y BOGT (ubicada en Bogotá, Colombia). Este vértice fue seleccionado debido a su ubicación muy cerca del baricentro de la CUC, y además se cuenta con un histórico de mediciones lo que permite conocer la variación de la posición de este a lo largo del tiempo. Se descartó utilizar el vértice Junquito (JUNQ) el cual fue medido en las campañas de SIRGAS 1995 y 2000 debido a una falla en el equipo durante el día de medición.

3.7.3. Marco de Referencia Nacional

El Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar (IGVSB) organismo rector de la geodesia y la cartografía en nuestro país indica en las ***“NORMAS PARA REFERIR LOS LEVANTAMIENTOS GEODÉSICOS Y TOPOGRÁFICOS AL SISTEMA GEODÉSICO NACIONAL”***, la adopción como Marco de Referencia Nacional la Red Geocéntrica Venezolana (REGVEN), la cual se encuentra referida al ITRF94 época 1995.4, por ello en el desarrollo de este trabajo se realizó la vinculación de las mediciones a la estación CRCS de la Red de Monitoreo Continuo (REMOS), la cual pertenece a REGVEN. Además, en cumplimiento con la norma, las coordenadas obtenidas fueron transformadas del **ITRF14 época 2018.4** al **ITRF94 época 1995.4**. Este proceso fue realizado utilizando el modelo de transformación del IERS, la convención *“Coordinate Frame Rotation”* de la IOGP y el Modelo de Velocidades Vemos 2015.

Para la ejecución de la transformación de ITRF14 a ITRF94 se utilizó la herramienta ITRFTRANS de desarrollo propio para este TSG y las velocidades fueron obtenidas por la aplicación Velinter (Drewes & Heidbach, 2009).

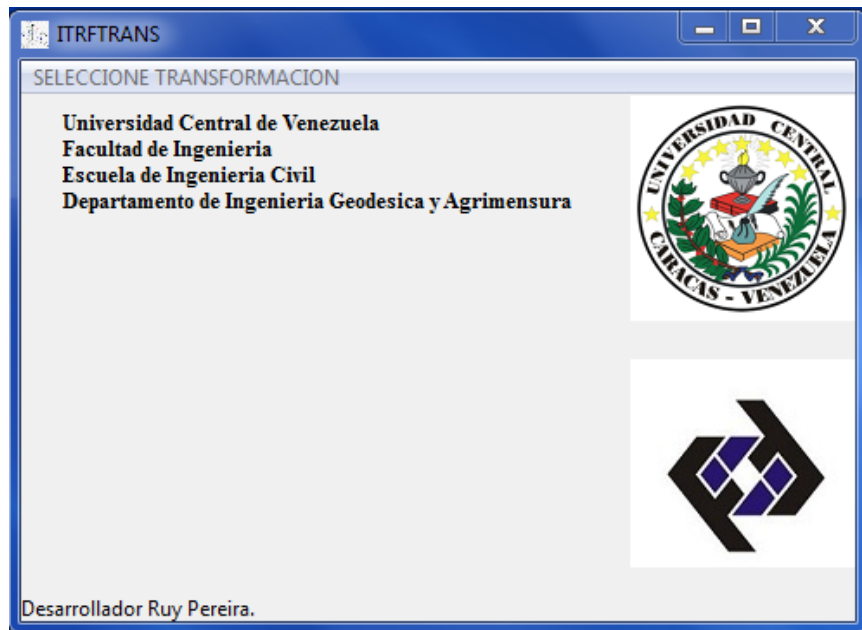


Figura 26. Ventana Principal ITRFTrans.

Fuente: elaboración propia.

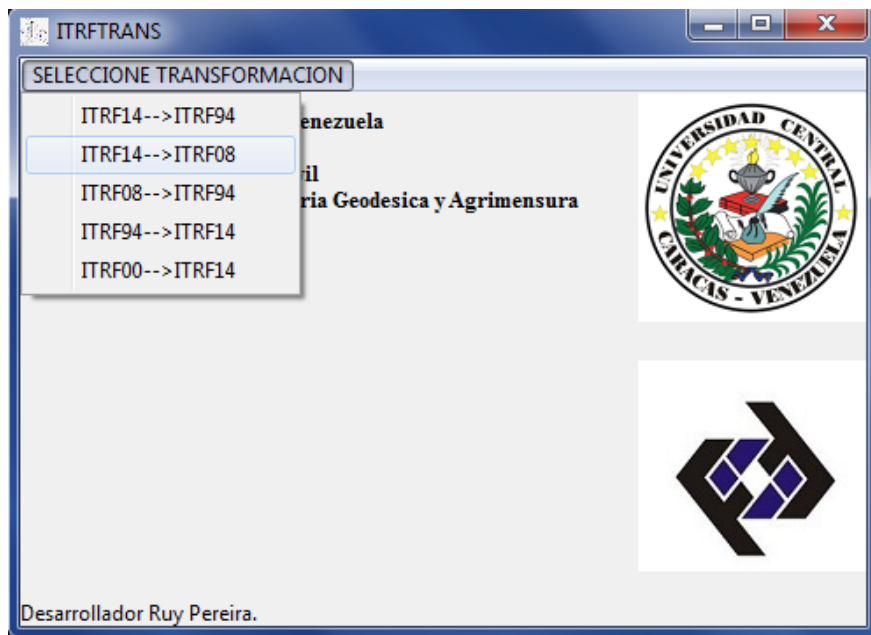


Figura 27. Menú de Selección de Transformación.

Fuente: elaboración propia.

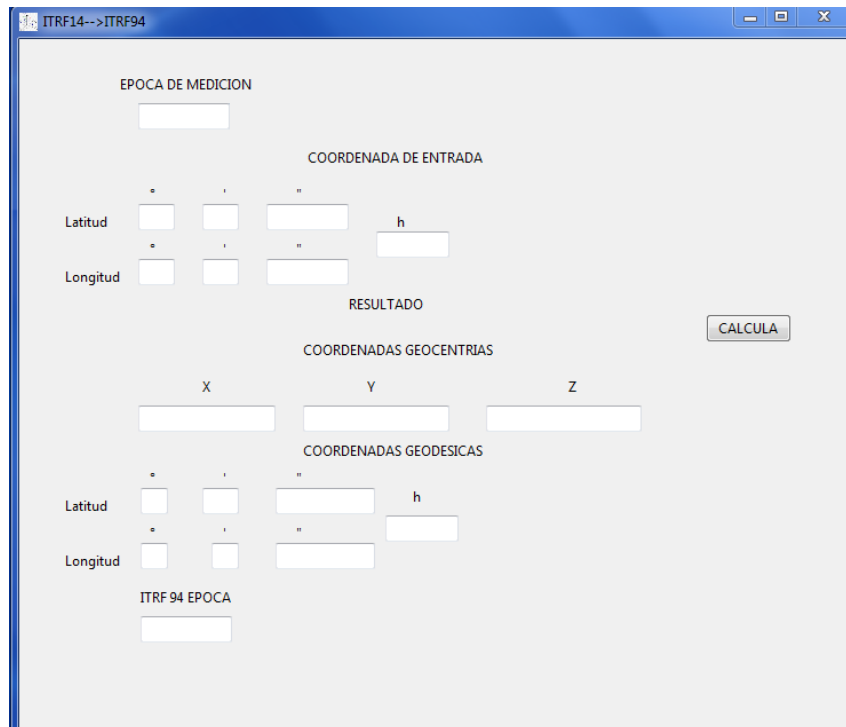


Figura 28. Ventana Transformación Seleccionada.

Fuente: elaboración propia.

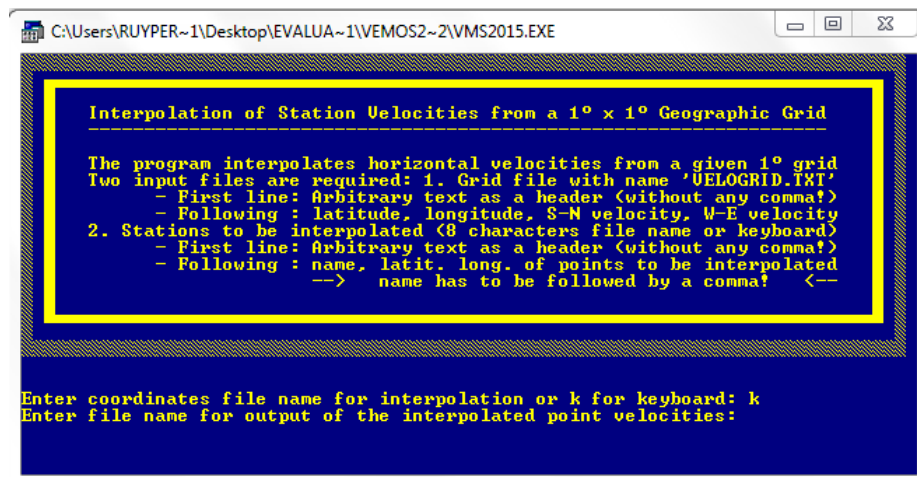


Figura 29. Ventana Velinter.

Fuente: (Drewes & Heidbach, 2009).

```

Interpolated Station velocities From 1 Degree * 1 Degree velocity Field Grid
-----
Geographic v(Lat), v(Long) and geocentric v(X), v(Y), v(Z) velocities [m/a]
CRCS
Interpolated from VELOCITY MODEL SIRGAS 2015
Station Latitude Longitude v(Lat) v(Long) v(X) v(Y) v(Z) no
-----
CRCS 10.503 -66.914 0.0121 0.0034 0.0023 0.0034 0.0119 4
|

```

Figura 30. Archivo de Salida Velinter.

Fuente: (Drewes & Heidbach, 2009).

3.8. Selección del Sistema de Coordenadas

Al ser la adquisición de campo realizada con receptores GNSS, los resultados de las coordenadas y la comparación para evaluar la calidad de las mismas, serán realizados en coordenadas Geocéntricas (X, Y, Z). Como parte de la conversión, las coordenadas serán ingresadas en coordenadas geodésicas (φ , λ , h) y se obtendrán coordenadas locales (e, n, u) resultantes.

En definitiva, para el desarrollo de este trabajo se utilizaron los siguientes sistemas de coordenadas:

Sistema de Coordenadas Geocéntricas (X, Y, Z).

Sistema de Coordenadas Geodésicas (φ , λ , h).

Sistema de Coordenadas Locales (e, n, u).

3.9. Área de Estudio

3.9.1. Descripción

Para la ejecución de las mediciones de campo fue seleccionado el campus de la CUC, siendo este un área controlada desde el punto de vista geodésico, y en la cual contamos con las condiciones necesarias para la evaluación de distintas metodologías y técnicas de adquisición de datos. Además, la CUC cuenta con una Red Geodésico-Topográfica establecida con técnicas clásicas, cuyas mediciones fueron compensadas de

manera rigurosa ofreciendo así variables conocidas las cuales pueden ser modificadas para evaluar el comportamiento y la calidad de los resultados.

La Red Geodésico-Topográfica de la CUC cuenta con diez (10) vértices ubicados en los techos de los edificios del Hospital Clínico Universitario, Farmacia, Ingeniería, Economía, Rectorado, Hidrometeorología, Nutrición, Bioanálisis, Estacionamiento Estructural y la Biblioteca Central, siendo la señal ubicada en este último en enlace con el sistema plano local Loma Quintana. Estos vértices fueron establecidos con el objetivo de apoyar el desarrollo de proyectos de ingeniería y gestión de servicios dentro de la CUC y el ajuste de un vuelo fotogramétrico realizado en la década de los años 1990.

Adicionalmente, la CUC cuenta con una micro red ubicada en el área “*Tierra de Nadie*”, la cual está conformada por cinco (5) vértices formando un pentágono si tomamos los vértices (G-2, F-1, F-2, F-3 y F-4) y un cuadrilátero con dos diagonales si solo tomamos los vértices (F-1, F-2, F-3 y F-4), estos son parte fundamental en el desarrollo de prácticas de campo y trabajos especiales de grado del Departamento de Ingeniería Geodésica y Agrimensura, por ende estos también forman parte de la infraestructura geodésica de la CUC y serán utilizados en el desarrollo de esta investigación y sus coordenadas serán actualizadas.



Figura 31. Ortofoto Ciudad Universitaria de Caracas.

Fuente: Departamento de Ingeniería Geodésica y Agrimensura-UCV.

3.9.2. Reconocimiento de Campo

Una vez fue recopilada la información relacionada con la Red Geodésico-Topográfica de la CUC, se procedió a realizar una visita para la verificación de la existencia y constatar el estado en el que se encuentran los vértices que la componen, solo logrando visitar 2 de los 10 vértices debido a que en el caso de Ingeniería el vértice fue cubierto por manto asfáltico cuando se realizaron labores de impermeabilización del edificio de aulas Luis Damiani, y en los otros 7 casos (Hidrometeorología, Farmacia, Economía, Nutrición, Hospital Clínico Universitario, Biblioteca y Rectorado) no se logró acceder a los vértices y constatar el estado en el que se encuentran para el momento en el cual se desarrolló este trabajo, únicamente se accedió a los vértices de Bioanálisis y el Estacionamiento Estructural, estos se encuentran representados por chapas metálicas sobre un mojón de concreto de 30 cm de altura.

La ejecución de esta visita preliminar permitió obtener información valiosa para la planificación de las actividades de campo.

3.10. Medición GNSS

3.10.1. Planificación

La ejecución de trabajos de campo requiere que sea realizada previamente una planificación con el objetivo de gestionar de la manera más eficiente los recursos disponibles, garantizar la calidad de los datos adquiridos, así como definir criterios de exactitud y precisión acordes a las necesidades del trabajo que se realiza. En este sentido la planificación de la medición con receptores GNSS para la ejecución de este trabajo se realizó considerando las siguientes variables:

3.10.1.1. Sistema de Referencia, Marco de Referencia y Sistema de Coordenadas

Por normativa del IGVS B todos los levantamientos geodésicos y topográficos deben estar referidos a **REGVEN ITRF94, época 1995,4** siendo este el Marco de Referencia Nacional el cual está vinculado a SIRGAS (Marco de Referencia Continental), para garantizar la vinculación del levantamiento a REGVEN y cumplir así con la relación jerárquica entre los marcos de referencia, se seleccionaron como puntos fijos para el ajuste

de los datos el vértice Junquito (JUNQ), el cual fue medido en las campañas 1995 y 2000 de SIRGAS y la estación de REMOS CRCS la cual hasta 2015 fue parte de las soluciones semanales de SIRGAS y en la actualidad forma parte únicamente de REGVEN, las coordenadas obtenidas de esta mediciones serán presentadas en Coordenadas Geocéntricas y Geodésicas.

Quedando definidos los siguientes parámetros para la medición:

Sistema de Referencia: GRS-80

Marco de Referencia Global: ITRF14

Marco de Referencia Continental: SIRGAS

Marco de Referencia Nacional: REGVEN

Sistema de Coordenadas: Coordenadas Geocéntricas y Geodésicas.

3.10.1.2. Modo de Medición, Observables y Exactitudes

Con el objetivo de garantizar exactitudes ≤ 2 cm se seleccionó el modo de medición Estático Relativo, adquiriendo medidas de fases portadoras y realizando posteriormente el pos-proceso de los datos con un software de procesamiento, la precisión estimada de esta técnica es de 5 mm + 1 ppm en planimetría y 7,5 mm + 1 ppm en altimetría, la tolerancia máxima quedó definida en $2,5 \sigma$.

Técnica de Observación: Estático.

Modo de Observación: Relativo.

Observable: Medidas de Fase (L1/L2) (Post-Proceso).

3.10.1.3. Tiempo de Medición, Tasa de Captura, Hora de Medición

El tiempo de medición se llevó a cabo tomando en cuenta la distancia más larga entre los vértices a calcular, siendo esta entre G-2 en la CUC y JUNQ perteneciente a REGVEN, para esto se utilizó la fórmula:

$$t = 45 \text{ min} + 7 \text{ min} \times D \text{ km}$$

Ecuación 8. Ecuación para el cálculo de tiempo de medición con Receptores GNSS.

Fuente: (Ferrecio, 2006).

Siendo D la distancia más lejana entre los vértices expresada en kilómetros.

La medición fue realizada entre las 9 a.m. y la 1 p.m., siendo seleccionada esta ventana tomando en cuenta el número de satélites disponibles en este intervalo de tiempo, esto fue verificado con la aplicación web GNSS View.

Tiempo de medición: 4 h.

Rata de Captura: 1s.

Hora de medición: 9 a.m. – 1p.m.

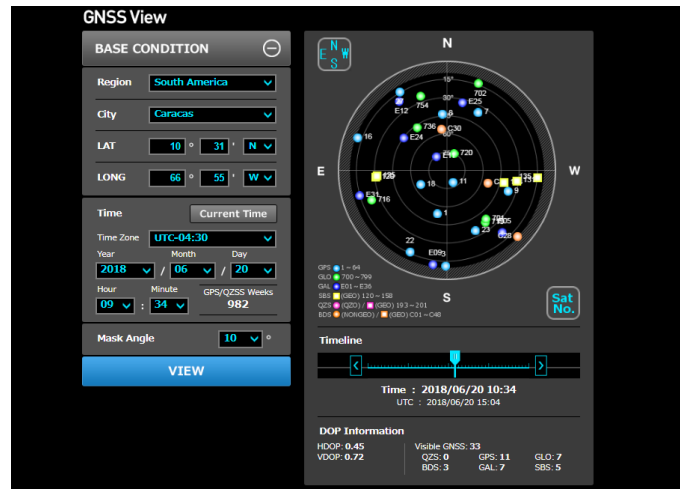


Figura 32. Captura de Pantalla Aplicación WEB GNSS View.

Fuente: <http://app.qzss.go.jp/GNSSView/gnssview.html>

3.10.1.4. Selección de los Vértices

La medición se llevó a cabo en los vértices Bioanálisis (BIO) y Estacionamiento Estructural (ESTR) los cuales forman parte de la Red Geodésico-Topográfica de la CUC y el vértice G-2, con el objetivo de actualizar las coordenadas de estos vértices, vincularlos a REGVEN (JUNQ y CRCS) y añadir G-2 a la Red de la CUC, para así contar con al menos un vértice de fácil acceso con coordenadas geodésicas actualizadas y coordenadas locales.

En el caso del vértice G-2, este tiene particular importancia al haber sido medido en campañas desde la década de los años 1960 hasta la actualidad, contar con valores de gravedad, cota ortométrica, coordenadas locales, coordenadas geodésicas, lo que permite tener trazabilidad del comportamiento de su posición a lo largo del tiempo, además estar ubicado muy cerca del centro geométrico del campus.



Figura 33. Planificación Levantamiento GNSS.

Fuente: elaboración propia.



Figura 34. Vértices Ubicados en la UCV.

Fuente: elaboración propia.

3.10.1.5. Equipos

Se seleccionaron equipos con capacidad de rastreo de satélites GPS y GLONASS, frecuencias L1 y L2 y códigos C/A y P, los cuales superan o igualan la precisión requerida en este trabajo y ambos se encuentran en el inventario del IGS

(ftp://igs.org/pub/station/general/rcvr_ant.tab.), lo que garantiza que sus antenas cuentan con calibraciones relativas y absolutas.

3.10.1.5.1. Receptor Sokkia GRX-1



Figura 35. Receptor SOKKIA GRX-1.

Fuente: Brochure GRX-1.

Positioning accuracy*2			
Static	L1+L2	H: 3mm + 0.5ppm	V: 5mm + 0.5ppm
	L1 only	H: 3mm + 0.8ppm	V: 4mm + 1ppm
Fast static	L1+L2	H: 3mm + 0.5ppm	V: 5mm + 0.5ppm
Kinematic	L1+L2	H: 10mm + 1ppm	V: 15mm + 1ppm
RTK	L1+L2	H: 10mm + 1ppm	V: 15mm + 1ppm
DGPS		<0.5m	

Figura 36. Rendimiento Según el Método de Adquisición de Datos, Receptor SOKKIA GRX-1.

Fuente: Brochure GRX-1.

3.10.1.5.2. Receptor Trimble 5700



Figura 37.Receptor Trimble 5700.

Fuente: Brochure Trimble 5700.

Code differential GPS positioning¹	
Horizontal.....	±0.25 m + 1 ppm RMS
Vertical.....	±0.50 m + 1 ppm RMS
WAAS differential positioning accuracy ²	typically <5 m 3DRMS
Static and FastStatic GPS surveying¹	
Horizontal.....	±5 mm + 0.5 ppm RMS
Vertical.....	±5 mm + 1 ppm RMS
Kinematic surveying¹	
Horizontal.....	±10 mm + 1 ppm RMS
Vertical.....	±20 mm + 1 ppm RMS
Initialization time ³	typically <10 seconds
Initialization reliability ⁴	typically >99.9%

Figura 38.Rendimiento del Receptor Según el Método de Adquisición de Datos.

Fuente: Brochure Trimble 5700.

3.10.1.6. Generación, Adecuación y QC de archivos RINEX

Al finalizar la medición, se realiza la descarga de los datos y la generación de archivos RINEX a partir de la data cruda en el formato nativo de la casa fabricante del

equipo, utilizando el aplicativo Teqc de UNAVCO. Una vez generados los archivos RINEX estos son adecuados modificando la información de cabecera (modelo de antena y receptor, observador, institución) y reduciendo la altura del instrumento al ARP de la antena. Al finalizar la modificación de la información se realiza el control de calidad “QC”, el cual permite analizar la calidad de los datos adquiridos, número de observaciones completadas, multipath de la antena, efecto de la ionosfera, número de satélites y tipos de observables entre otras variables de interés para el pos-proceso.

```

2.11 OBSERVATION DATA M (MIXED) RINEX VERSION / TYPE
teqc 2018Jan11 20180626 15:10:14 UTC PGM / RUN BY / DATE
Linux2.6.32-573.12.1.el6.x86_64|x86_64|gcc|win64-Mingw64|+= COMMENT
BIT 2 OF LLI FLAGS DATA COLLECTED UNDER A/S CONDITION COMMENT
G-2 MARKER NAME
632-00414 DIGA/UCV OBSERVER / AGENCY
TOPCON GMSX 4.7 Oct,23,2015 REC # / TYPE / VERS
NONE SOKGRX1 ANT # / TYPE
2462159.1369 -5769653.9602 1153842.2550 APPROX POSITION XYZ
1.7020 0.0000 0.0000 ANTENNA: DELTA H/E/N
1 1 WAVELENGTH FACT L1/2
7 L1 L2 C1 P1 P2 S1 S2 # / TYPES OF OBSERV
18 LEAP SECONDS
SNR is mapped to RINEX snr flag value [0-9] COMMENT
L1 & L2: min(max(int(snr_dBHz/6), 0), 9) COMMENT
pseudorange smoothing corrections not applied COMMENT
rx board ID: ENM0YRXX6V4 COMMENT
2018 6 20 13 37 10.0000000 GPS TIME OF FIRST OBS
END OF HEADER

```

Figura 39. Archivo RINEX Generado con la Aplicación Teqc.

Fuente: elaboración propia.

```

input RnxNAV file(s) : crcs1710U.18N
*****
4-character ID      : CRCS
Receiver type      :
Antenna type       : Ant to Bottom (# = 0)
Time of start of window : 2018 Jun 20 00:00:00.000
Time of end of window   : 2018 Jun 20 23:59:59.000
Time line window length : 24.00 hour(s), ticked every 3.0 hour(s)
antenna WGS 84 (xyz) : 2459726.7688 -5770480.7153 1155125.4380 (m)
antenna WGS 84 (geo) : N 10 deg 30' 9.68" W 66 deg 54' 48.15"
antenna WGS 84 (geo) : 10.502688 deg 293.086626 deg (= -66.913374 deg)
WGS 84 height : 891.8904 m
qc - header position : 31.2031 m
Observation interval : 1.0000 seconds
Total satellites w/ obs : 31
NAVSTAR GPS SVs w/o OBS : 4
NAVSTAR GPS SVs w/o NAV :
RX tracking capability : unknown
Poss. # of obs epochs : 86400
Epochs w/ observations : 86400
Epochs repeated : 0 (0.00%)
Possible obs > 0.0 deg: 1055420
Possible obs > 10.0 deg: 825990
Complete obs > 10.0 deg: 780820
Deleted obs > 10.0 deg: 8640
Masked obs < 10.0 deg: 30789
Obs w/ SV duplication : 0 (within non-repeated epochs)
Moving average MP12 : 0.430785 m
Moving average MP21 : 0.309346 m
Points in MP moving avg : 50
No. of Rx clock offsets : 0
Total Rx clock drift : 0.000000 ms
Rate of Rx clock drift : 0.000 ms/hr
Avg time between resets : Inf minute(s)
Freq no. and timecode : 2 14045 ffffff
Report gap > than : 10.00 minute(s)
epochs w/ msec clk slip : 0
other msec mp events : 0 (: 114) {expect ~ 1:50}
IOD signifying a slip : >400.0 cm/minute
IOD slips < 10.0 deg* : 413
IOD slips > 10.0 deg : 328
IOD or MP slips < 10.0* : 418
IOD or MP slips > 10.0 : 335
* or unknown elevation
first epoch last epoch hrs dt #expt #have % mp1 mp2 o/slps
SUM 18 6 20 00:00 18 6 20 23:59 24.00 1 825990 780820 95 0.43 0.31 2331

```

Figura 40. Ejemplo de Informe Generado con la Aplicación TEQC.

Fuente: elaboración propia.

```

2.11 OBSERVATION DATA GPS(GPS) RINEX VERSION / TYPE
cnvtTORINEX 2.60.0 convertTORINEX OPR 26-Jun-18 14:19 UTC PGM / RUN BY / DATE
-----
ESTR MARKER NAME
ESTR MARKER NUMBER
RUY DIGA-UCV OBSERVER / AGENCY
0440100709 5700 TRM41249.00 2.32 REC # / TYPE / VERS
NONE ANT # / TYPE
2462659.9258 -5769481.7919 1153655.6911 APPROX POSITION XYZ
1.4930 0.0000 0.0000 ANTENNA: DELTA H/E/N
1 1 0 WAVELENGTH FACT L1/2
4 C1 L1 L2 P2 # / TYPES OF OBSERV
2018 6 20 14 13 15.0000000 GPS TIME OF FIRST OBS
2018 6 20 17 5 30.0000000 GPS TIME OF LAST OBS
0 RCV CLOCK OFFS APPL
17 LEAP SECONDS
14 # OF SATELLITES
G01 687 687 687 687 PRN / # OF OBS
G03 428 428 428 428 PRN / # OF OBS
G07 675 675 675 675 PRN / # OF OBS
G08 648 648 646 646 PRN / # OF OBS
G09 690 690 690 690 PRN / # OF OBS
G11 690 690 690 690 PRN / # OF OBS
G16 98 98 95 95 PRN / # OF OBS
G17 320 320 320 320 PRN / # OF OBS
G18 690 690 690 690 PRN / # OF OBS
G22 684 684 684 684 PRN / # OF OBS
G23 535 535 535 535 PRN / # OF OBS
G27 224 224 222 222 PRN / # OF OBS
G28 208 208 205 205 PRN / # OF OBS
G30 444 444 444 444 PRN / # OF OBS
CARRIER PHASE MEASUREMENTS: PHASE SHIFTS REMOVED COMMENT
END OF HEADER

```

Figura 41. Archivo RINEX Trimble.

Fuente: elaboración propia.

En el Control de calidad realizado a los datos se descartó la medición realizada en el vértice JUNQ, debido a que por una falla del equipo no se realizó el registro de las mediciones de manera adecuada por lo tanto sólo se contaba con la data de la estación CRCS y sus coordenadas, las cuales están publicadas por el IGVSb en su página oficial.

ITRF94, Época 1995.4
 Latitud: 10° 30' 9,10181''
 Longitud: -66° 54' 48,65938''
 h: 912,999 m
 HVGM10: 930,209 m
 Norte: 1161732,789 m
 Este: 728356,575 m
 Huso: 19

Figura 42. Coordenada de la Estación REMOS CRCS.

Fecha de Consulta: 21/06/2018.

Fuente: www.igvsb.gov.ve

Esta coordenada genera incertidumbre debido a que presenta diferencias con las coordenadas publicadas en el trabajo “Estimación de Coordenadas Iniciales GNSS de la Red Permanente REMOS Ampliada en Venezuela 2014.3”, desarrollado por el Prof. Msc. Ing Gustavo Acuña, Ing. Freddy Balcazar, Ing. Napoleon Hernandez, Ing. Ruber Alvarez,

Ing. Giovanni Royero, Ing. Manure Barrios, Ing. Samuel Rincon y la Ing. Maria Ocando (Acuña, y otros, 2014) y con la coordenada publicada por SIRGAS (SIRP011 y solución semanal 1721), por esto y a fin de mantener la estructura jerárquica de los marcos de referencia, se diseñó otra estrategia para la vinculación de los vértices con SIRGAS y REGVEN.

| **CRCS** | 2459721.803 | -5770508.964 | 1155111.847 | 10 30 09.1008 | -66 54 48.6607 | 913.049 |

Figura 43. Coordenada Estación REMOS CRCS ITRF94, Época 1995,4.

Fuente: (Acuña, y otros, 2014).

Para la vinculación con SIRGAS se utilizó el servicio de procesamiento en línea AUSPOS donde se realizó el cálculo de G-2 utilizando el método estático relativo desde dos estaciones del IGS (MANA y BOGT). La validación de la solución calculada se realizó calculando la coordenada del mismo vértice utilizando el software gLAB de ESA y el servicio de procesamiento PPP en línea de Canadá, para ello se estableció una tolerancia límite de $\pm 2\sigma$. Este procedimiento no fue realizado con la estación CRCS debido a que con la actualización de REMOS en el año 2014 se instalaron equipos (Receptor STONEX RSNET4, Antena Harxon HXCGG486A+HXCS) que no cuentan con la certificación del IGS y en el caso de la antena no cuenta con calibración absoluta ni relativa, lo que afecta directamente la posición al no conocer la corrección del centro de fase de la antena.

Sin embargo, la vinculación a REGVEN se realizó a través de la antena CRCS, para ello se calculó la coordenada desde la solución obtenida de G-2, utilizando el software SOKKIA Spectrum Survey Office 8.3, la coordenada obtenida fue validada comparándola con trece (13) coordenadas obtenidas por distintos métodos, Ver Tablas 36 y 38.

En el año 2015 el Prof. Msc. Ing Gustavo Acuña, realizó una propuesta a SIRGAS de utilizar la calibración de la Antena de la casa SOUTH (STHCR3-G3+STHC), la cual tiene las mismas características físicas que la antena de la casa Harxon (HXCGG486A+HXCS) y cuenta con calibraciones absolutas y además se encuentra en el inventario del IGS, esto fue probado en este TEG para realizar el cálculo de la coordenada de la estación CRCS y realizar la validación con la coordenada obtenida desde G-2, pero no

se tomó como solución definitiva al no ser una metodología la cual tenga respaldo de SIRGAS o el IGVSB.

Para la validación se utilizaron las coordenadas calculadas por los servicios de procesamiento en línea AUSPOS y CSRS, la solución PPP calculada con el software gLAB, coordenadas calculadas en distintas soluciones de SIRGAS llevadas al marco y época de observación utilizando la aplicación ITRFtrans, el modelo Vemos y APKIM2014, la solución obtenida con el software LeicaGeoffice 7.0 y la solución obtenida con RTKLIB a partir de seis estaciones del IGS (RDSD, KOUR, BOAV, BOGT, MANA, ABMF) combinadas utilizando un promedio ponderado, cuya fórmula de peso está definida por el inverso de la distancia y la combinación de estas seis (6) soluciones con el software científico Columbus 3.8 de la casa BESTFIT, para esta validación se estableció una tolerancia de $\pm 2\sigma$ y la comparación se realizó utilizando las coordenadas geocéntricas.



Figura 44. Estaciones Seleccionadas para el Cálculo de Líneas Independientes con la Aplicación RTK-LIB.

Fuente: elaboración propia.

3.10.1.7. Post-Proceso de Mediciones GNSS

El post-proceso de las mediciones se realizó utilizando el software comercial de procesamiento y análisis de datos GNSS de la casa SOKKIA **Spectrum Survey Office 8.3** el cual fue proporcionado por la empresa **Amundaray Instrumentos Geotécnicos C.A**, la cual también proporcionó los equipos para la medición.

En esta etapa se utilizó la combinación “sólo-GPS” descartando así las mediciones GLONASS, se toma esta decisión motivado a que para la época en la cual se desarrolla este trabajo las soluciones semanales de SIRGAS eran calculadas con esta combinación, además se utilizaron efemérides finales del IGS, este software en particular no permite la carga de archivos de calibración de antenas (.atx), por lo que las correcciones del centro de fase las realiza utilizando una base de datos interna con la que cuenta el software. La resolución de la ambigüedad es realizada con el método LAMBDA y el cálculo de la solución utilizando doble diferencias de fase.

Esta etapa se ejecutó siguiendo la metodología que se presenta a continuación:

- ✓ Creación del Proyecto

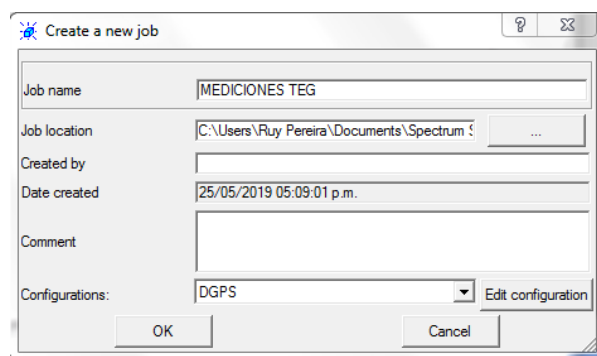


Figura 45. Creación del Proyecto Software SOKKIA SpectrumSurveyOffice.

Fuente: elaboración propia.

- ✓ Definición de Parámetros de Post-Proceso (Máscara de Elevación y Tipo de Solución):

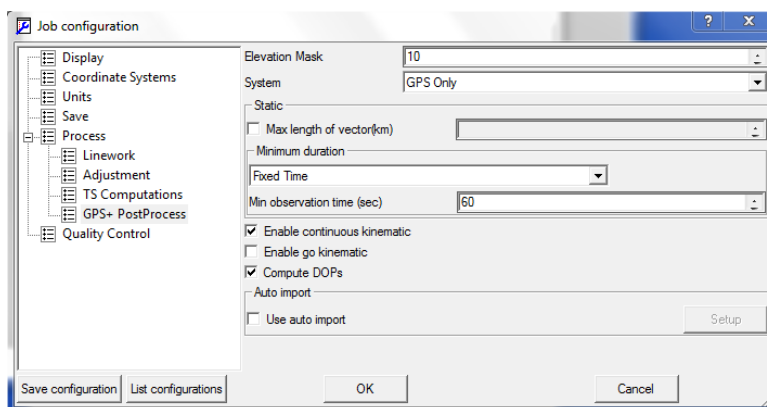


Figura 46. Ventana Emergente Opciones de Proceso.

Fuente: elaboración propia.

- ✓ Carga de Observaciones (.O Archivo Rinex), Pestaña Archivo→Import:

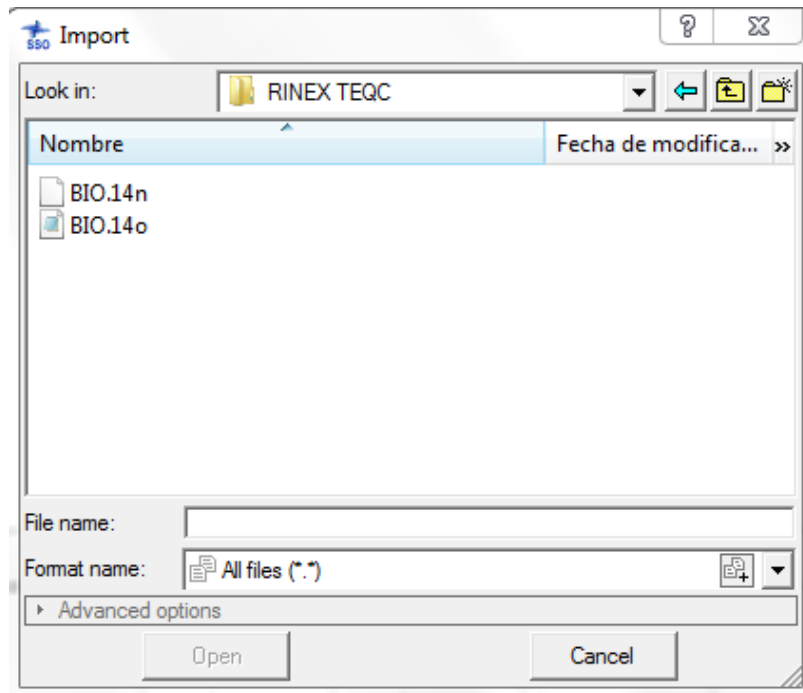


Figura 47. Ventana Emergente de Selección de la Ruta de Archivos.

Fuente: elaboración propia.

- ✓ Selección del Modelo de Antena y Verificación de Altura (Doble click Sobre la Altura de la Antena):

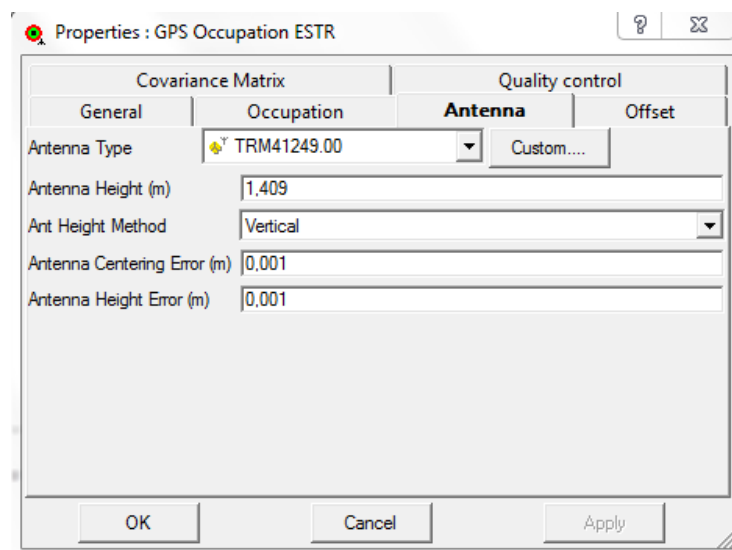


Figura 48. Selección de Modelo e Ingreso de Altura de Antena.

Fuente: elaboración propia.

- ✓ Escrutinio de las Observaciones, para el Enmascaramiento de Saltos de Ciclo

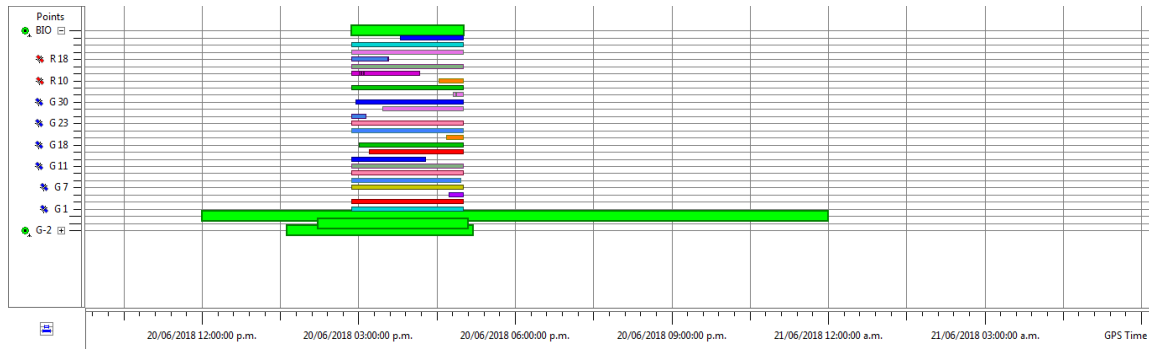


Figura 49. Ventana Escrutinio de Observaciones.

Fuente: elaboración propia.

- ✓ Definición de Puntos Fijos (Doble click Sobre el Punto, Selección de Control en Horizontal y Vertical, (Carga de Coordenadas Fijas φ , λ , h y $\sigma\varphi$, $\sigma\lambda$, σh)

Figura 50. Ventana Nombre y Tipo de Punto.

Fuente: elaboración propia.

Properties : Point CRCS

General **Coordinates** Adjustment Quality control Photo Notes Codes and Style

Lat, Lon

Latitude 10°30'09.12186"N

Longitude 66°54'48.65943"W

Ell.Height (m) 911.68

Geoid Separation (m)

OK Cancel Apply

Figura 51. Ventana de Ingreso de Coordenadas Fijas.

Fuente: elaboración propia.

Name	Latitude	Longitude	Ell.Height (m)	Code	Control	Note	Photo Notes	Layer	Source	Std Dev n (m)	Std Dev e (m)	Std Dev u (m)
G-2	10°29'27.45507"N	66°53'23.93771"W	845,835		Both			0	C:\Users\Ruy P...	0,006	0,012	0,025
CRCS	10°30'09.11197"N	66°54'48.65783"W	913,027		Both			0	C:\Users\Ruy P...	0,001	0,001	0,002
BIO	10°29'31.26682"N	66°53'12.38308"W	857,872		None			0	C:\Users\Ruy P...			
ESTR	10°29'21.27483"N	66°53'06.54584"W	850,800		None			0	C:\Users\Ruy P...			

Figura 52. Propiedades de Puntos.

Fuente: elaboración propia.

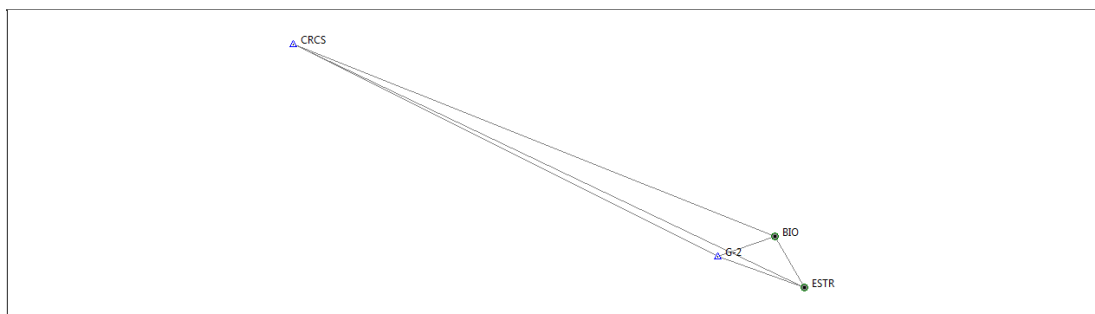


Figura 53. Vista Layout Puntos Cargados y Líneas Generadas.

Fuente: elaboración propia.

- ✓ Carga de Efemérides Precisas (Pestaña Archivo→ Import)

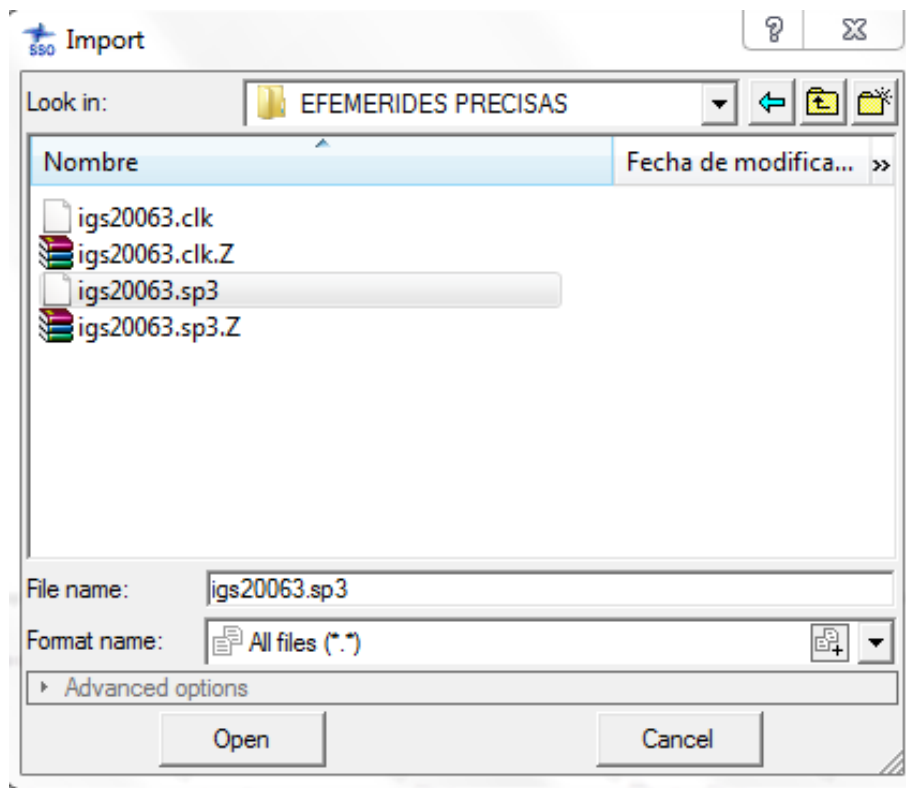


Figura 54. Ventana Emergente Selección de Ruta de Archivos de Efemérides.

Fuente: elaboración propia.

- ✓ Ajuste de Vectores (Pestaña Process→GPS+Processing)

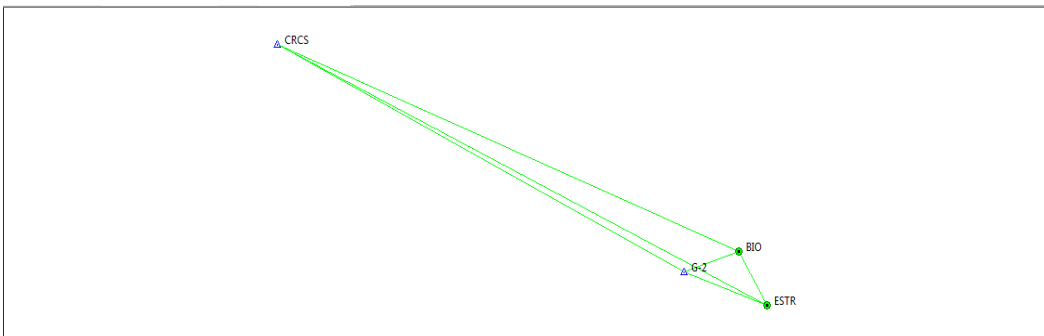


Figura 55. Layout Líneas Bases ajustada.

Fuente: elaboración propia.

- ✓ Ajuste de Red (Pestaña Process → Adjustment)

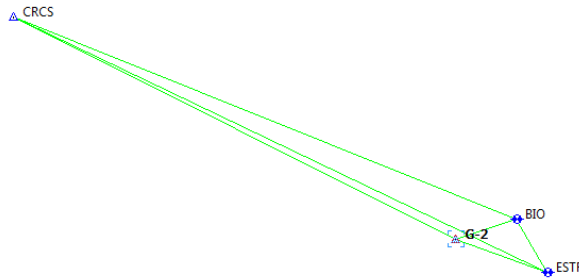


Figura 56. Layout Red Ajustada.

Fuente: elaboración propia.

- ✓ Generación de Reporte (Pestaña Report), este contiene los resultados del ajuste de vectores, ajuste de red y coordenadas definitivas (ver Apéndice 1).

3.11. Cálculo y Ajuste de Coordenadas Locales

Una vez fueron pos procesadas las coordenadas de los vértices BIO y ESTR, se realizó la transformación del **ITRF14 época 2018,4684** vigente para el día de la observación (20/06/2018, Semana GPS 2006, día 4), al marco de referencia y época oficial para Venezuela **ITRF94, época 1995,4**, de las coordenadas de todos los vértices involucrados en el post-proceso. Este proceso fue realizado utilizando la herramienta **ITRFTrans** de desarrollo propio para este trabajo.

Luego se utilizó la herramienta **Geolocalconvert**, desarrollada para la conversión de coordenadas entre un Sistema Terrestre Global a un Sistema Terrestre Local, y se obtuvieron las coordenadas locales referidas al sistema plano Loma Quintana. Como parte de este trabajo se realizó la densificación de la Red Geodésico-Topográfica de la CUC, combinando las coordenadas obtenidas de las mediciones GNSS de los vértices BIO, EST y G-2 con las medidas utilizando la técnica Ntrip por la Ing. Johana Infante en el TEG “*Aplicación de la Metodología GNSS Ntrip a Levantamientos Topográficos con fines Catastrales*”, donde obtuvo coordenadas de los vértices F1, F2, F3 y F4 referidas al ITRF08, Época 2015 y posteriormente transformadas al marco y época oficial del país.

Para ello se calcularon vectores topocéntricos entre los vértices y estos fueron ajustados como Red Libre y luego como una Red Mínimamente Constreñida utilizando la herramienta de ajuste de Redes Open Source, Java Graticule 3D, de esta manera se realizó el ajuste de la Red y se obtuvieron coordenadas locales de los vértices, estas fueron validadas comparando la distancia obtenida por coordenadas con la distancia medida en campo utilizando estación total. (Ver tabla 44)

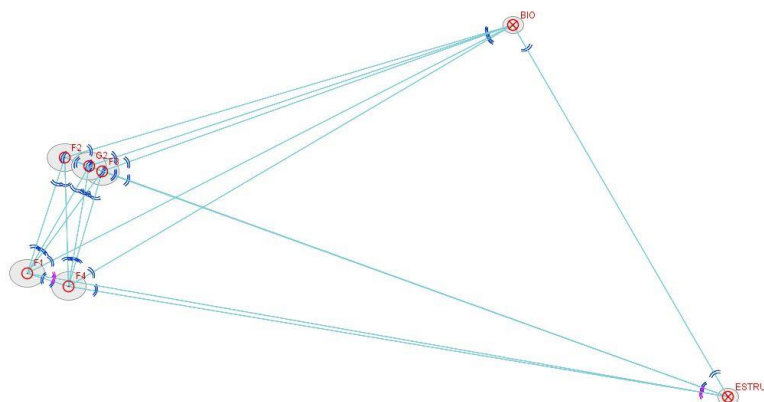


Figura 57.Red Ajustada con JAG-3D.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 15. Coordenadas Locales Calculadas.

Vértice	E (m)	N (m)	H (m)
ESTRUC	5510,2535	-1586,2825	867,5871
BIO	5332,3065	-1279,2338	874,4864
F1	4930,1964	-1484,003	863,8355
F2	4961,2965	-1388,6619	863,4615
F3	4992,1835	-1400,041	863,3845
F4	4964,8455	-1494,6354	863,2405
G2	4981,4232	-1395,4594	863,3889

Fuente: elaboración propia.

3.12. Vinculación con Productos Cartográficos en Escalas Grandes con el Marco de Referencia Nacional

Aprovechando la reversibilidad del método seleccionado, se calcularon las coordenadas geodésicas de la cuadrícula de los planos 1:1000 del Campus de la UCV, generados en los años 1952 (Instituto Ciudad Universitaria), 1975 (Plan Caracas) y 1992 (COPRED-DIGA), estos planos están referidos al sistema plano rectangular Loma Quintana. Para el cálculo de las coordenadas geodésicas se definió vértice G-2 como origen, este vértice cuenta con coordenadas geodésicas referidas al ITRF94, época 1995.4 (Tabla 41) y coordenadas locales en Loma Quintana (Tabla 15).

Una vez calculadas las coordenadas geodésicas de la cuadrícula, se realizó la georreferenciación de los planos en REGVEN utilizando el software Global Mapper versión 18, el cual utiliza como estrategia de rectificación el método polinómico (polinomio de grado 2).

Para la evaluación de la calidad, se extrajeron puntos de la cuadrícula del producto georreferenciado en REGVEN, los cuales no fueron incluidos en el polinomio utilizado para la corrección geométrica de la imagen y se calcularon las coordenadas locales, los valores obtenidos fueron comparados con los valores de la cuadrícula plana.

La exactitud para evaluar la calidad, fue definida por la fórmula propuesta en la página 10 de la norma PDVSA GEO-02-01-03 Cartografía, publicada en el Manual para la Geodesia, Volumen 2, Especificaciones técnicas del año 2017:

Error Medio:

$$\sigma_{XY} = 0.25\text{mm} * MK$$

Tolerancia Planimetría:

$$T_{XY} = 0,54 \text{ mm} * MK, \text{ donde}$$

0,25 mm, Unidad mínima de medida del ojo humano

0,54 mm, Estándar Internacional de tolerancia planimetría

MK, Denominador de Escala del Producto Cartográfico.

Quedando definido el sigma y la tolerancia para productos en escala 1:1000 según (PDVSA P. d., 2015):

$$\sigma_{XY} = 0,25 \text{ m.}$$

$T_{XY} = 0,54 \text{ m.}$



Figura 58. Plano Escala 1:1000 Ciudad Universitaria de Caracas 1952.

Fuente: Instituto Ciudad Universitaria.

Tabla 16. Diferencias entre las Coordenadas Calculadas y las Coordenadas de la Cuadrícula del Plano de 1952 Elaborado por el Instituto Ciudad Universitaria.

Coord. Calculadas		Coord. Cuadrícula		Diferencias	
E (m)	N (m)	E (m)	N (m)	ΔE (m)	ΔN (m)
4900,32	-599,35	4900	-600	0,32	0,65
5500,13	-700,20	5500	-700	0,13	-0,20
5599,99	-999,99	5600	-1000	-0,01	0,01
5000,44	-1100,30	5000	-1100	0,44	-0,30
5999,97	-1100,04	6000	-1100	-0,03	-0,04
5100,02	-499,78	5100	-500	0,02	0,22
5900,18	-599,84	5900	-600	0,18	0,16
5100,25	-1000,08	5100	-1000	0,25	-0,08
5400,43	-900,04	5400	-900	0,43	-0,04
5700,04	-900,16	5700	-900	0,04	-0,16

Fuente: elaboración propia.



Figura 59. Plano Escala 1:1000 de Ciudad Universitaria de Caracas Elaborado en el Marco del Plan Caracas.

Fuente: Departamento de Ingeniería Geodésica y Agrimensura-UCV.

Tabla 17. Diferencias entre las Coordenadas Calculadas y las Coordenadas de la Cuadrícula del Plano de 1975 en el Marco del Plan Caracas.

Coord. Calculadas		Coord. Cuadrícula		Diferencias	
E (m)	N (m)	E (m)	N (m)	ΔE (m)	ΔN (m)
4599,96	-1399,96	4600	-1400	-0,04	0,04
4700,06	-1599,93	4700	-1600	0,063	0,07
4999,75	-1399,90	5000	-1400	-0,2	0,10
5099,91	-1699,88	5100	-1700	-0,09	0,12
5099,92	-1299,89	5100	-1300	-0,08	0,11
4700,07	-1299,95	4700	-1300	0,07	0,05
4799,91	-1499,89	4800	-1500	-0,09	0,11
5300,01	-1500,04	5300	-1500	0,01	-0,05
5099,94	-1599,96	5100	-1600	-0,06	0,04
5099,90	-1399,95	5100	-1400	-0,10	0,05

Fuente: elaboración propia.

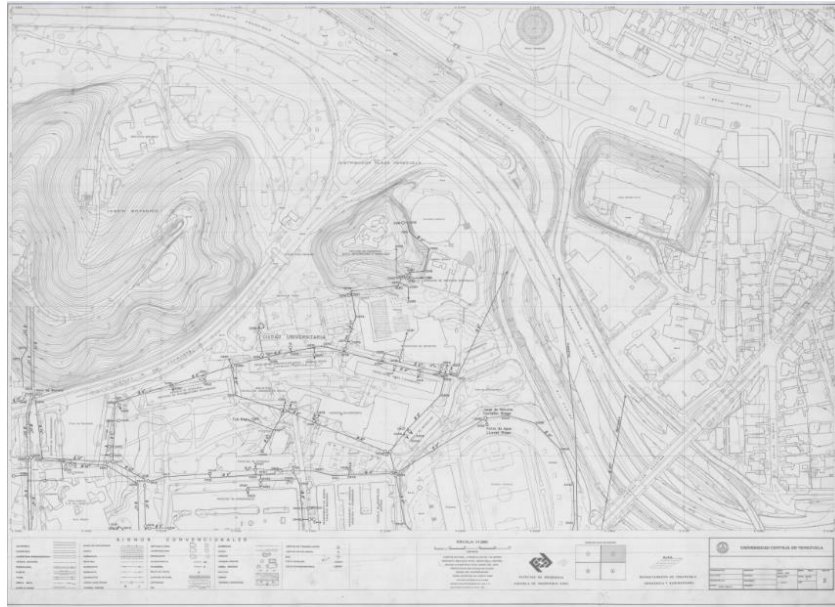


Figura 60. Plano Escala 1:1000 de Ciudad Universitaria de Caracas Generado por DIGA a Solicitud de COPRED.

Fuente: Departamento de Ingeniería Geodésica y Agrimensura-UCV.

Tabla 18. Diferencias entre las Coordenadas Calculadas y las Coordenadas de la Cuadrícula del Plano 1992 Elaborado por el Departamento de Ingeniería Geodésica y Agrimensura-UCV.

Coord. Calculadas		Coord. Cuadrícula		Diferencias	
E (m)	N (m)	E (m)	N (m)	ΔE (m)	ΔN (m)
4900,32	-599,35	4900	-600	0,32	0,65
5500,13	-700,20	5500	-700	0,13	-0,20
5599,99	-999,99	5600	-1000	-0,01	0,01
5000,17	-1100,05	5000	-1100	0,17	-0,05
5999,97	-1100,04	6000	-1100	-0,03	-0,04
5100,02	-499,78	5100	-500	0,02	0,22
5900,18	-599,84	5900	-600	0,18	0,16
5100,25	-1000,08	5100	-1000	0,25	-0,08
5400,26	-899,90	5400	-900	0,26	0,10
5700,08	-900,03	5700	-900	0,08	-0,03

Fuente: elaboración propia

CAPITULO IV

RESULTADOS Y ANÁLISIS

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos y el análisis de estos, los cuales fueron obtenidos siguiendo los procesos descritos en los capítulos anteriores, esto con el objetivo de describir aquellos datos que han sido utilizados en el desarrollo del trabajo y el análisis estadístico de las pruebas realizadas con estos, para validar la calidad del método de conversión de coordenadas seleccionado, así como sus limitaciones.

4.1. Validación del Método Seleccionado

Para realizar la validación de las ecuaciones de conversión, se realizaron tres evaluaciones:

4.1.1. Red Municipal de Santa María, Estado Rio Grande do Sul, Brasil

En la primera se utilizaron datos de la Red Municipal de Santa María, Estado Rio Grande do Sul, Brasil, cuyas coordenadas fueron definidas con la metodología propuesta en la norma NBR 14166 (Rede de Referência Cadastral Municipal – Procedimento), se compararon las coordenadas obtenidas con la metodología de conversión seleccionada con las coordenadas fijas de la Red.

Tabla 19. Coordenadas Geodésicas Fijas de los Vértices de la Red Municipal del Municipio Santa María, Estado de Rio Grande do Sul, Brasil.

ID	Latitud			Longitud			h (m)	$\sigma\phi$ (m)	$\sigma\lambda$ (m)	σh (m)
	°	'	"	°	'	"				
UFSM-019	-29	-42	-56,551	-53	-43	-6,7909	97,855	0,002	0,002	0,004
UFSM-M003	-29	-42	-55,06	-53	-42	-56,694	97,246	0,002	0,002	0,004
IBGE-1792G	-29	-42	-8,3052	-53	-41	-40,632	90,224	0,002	0,002	0,004
PMSM-M20	-29	-42	-22,857	-53	-44	-23,527	122,699	0,002	0,002	0,007
PMSM-M19	-29	-42	-8,9667	-53	-42	-55,531	100,074	0,002	0,002	0,004
PMSM-M10	-29	-42	-25,314	-53	-51	-7,9852	116,648	0,002	0,002	0,004
PMSM-M07	-29	-42	-26,946	-53	-52	-26,05	117,303	0,002	0,002	0,004
PMSM-M17	-29	-41	-6,4222	-53	-48	-12,192	135,835	0,002	0,002	0,007

Fuente: elaboración propia.

Tabla 20. Coordenadas Locales Fijas de los Vértices de la Red Municipal del Municipio Santa María, Estado de Rio Grande do Sul, Brasil.

ID	E (m)	N (m)
UFMSM-019	158208,635	246605,958
UFMSM-M003	158480,053	246651,665
IBGE-1792G	160525,808	248089,592
PMSM-M20	156146,707	247644,755
PMSM-M19	158512,386	248070,933
PMSM-M10	145274,574	247569,799
PMSM-M07	143176,168	247518,488
PMSM-M17	150000	150000

Fuente: elaboración propia.

Tabla 21. Diferencias entre Coordenadas Locales Convertidas - Coordenadas Locales Fijas.

ID	Conversión		Vértices Red Brasil		dif E (m)	dif N (m)
	E (m)	N (m)	E (m)	N (m)		
UFMSM-019	158208,6350	246605,9579	158208,6350	246605,9580	0,0000	-0,0001
UFMSM-M003	158480,0530	246651,6651	158480,0530	246651,6650	0,0000	0,0001
IBGE-1792G	160525,8070	248089,5919	160525,8080	248089,5920	-0,0010	-0,0001
PMSM-M20	156146,7069	247644,7555	156146,7070	247644,7550	-0,0001	0,0005
PMSM-M19	158512,3861	248070,9328	158512,3860	248070,9330	0,0001	-0,0002
PMSM-M10	145274,5733	247569,7992	145274,5740	247569,7990	-0,0007	0,0002
PMSM-M07	143176,1679	247518,4876	143176,1680	247518,4880	-0,0001	-0,0004

Fuente: elaboración propia.

Tabla 22. Desviación Estándar de la Conversión de Coordenadas.

σ E (m)	σ N (m)
0,0005	0,0003

Fuente: elaboración propia.

Tabla 23. Resultados Obtenidos en el Trabajo (Vargas G, 2013).

Coordenadas Oficiales			Transgeolocal		Discrepâncias		
Marco	X(m)	Y(m)	t(m)	u(m)	Δ t (m)	Δ u (m)	Δ S (m)
PMSM-M19	158512,386	248070,933	158512,379	248070,926	-0,007	-0,007	0,010
PMSM-M20	156146,707	247644,755	156146,713	247644,764	0,006	0,009	0,011
PMSM-M57	152231,68	247471,22	152231,653	247471,211	-0,027	-0,009	0,028
IBGE-1792G	160525,808	248089,592	160525,821	248089,616	0,013	0,024	0,027
UFMSM-M003	158480,053	246651,665	158480,059	246651,668	0,006	0,003	0,007
UFMSM-M007	158208,635	246605,958	158208,628	246605,96	-0,007	0,002	0,007
PMSM-M07	143176,168	247518,488	143176,159	247518,496	-0,009	0,008	0,012
PMSM-M10	145274,574	247569,799	145274,562	247569,794	-0,012	-0,005	0,013
Media*					-0,005	0,003	0,014
σ^*					0,013	0,011	0,009

Fuente: (Vargas G, 2013).

4.1.1.1. Análisis de Resultados

Los resultados obtenidos con una desviación estándar en E de 0,0005 m y N de 0,0003 m, demuestran que el método de conversión seleccionado, cumple con las especificaciones de la norma NBR 14166, y puede ser utilizado para la conversión y materialización de redes locales para catastro y obras de ingeniería, estos contrastan con los del trabajo *“Comparação de metodos de transformação de coordenadas geodesicas para o plano topografico local utilizando os softwares Transgeolocal, TopoEVN, Posição e o*

aplicativo de Transformação plana.” desarrollado por el Ingeniero Fabiano de Vargas Gregorio, (Vargas G, 2013).

La diferencia máxima fue de 0,001 m en la coordenada Este del vértice IBGE-1792G y los errores medios de 0,0002 m en Este y 0,0000 m en Norte. Esto demuestra la calidad de las mediciones GNSS con las cuales se materializaron los puntos.

Además, el método propuesto en este trabajo no se ve limitado por diferencias de alturas entre los vértices, lo que sí ocurre con el método NBR 14166 el cual se ve limitado por diferencias de nivel de ± 150 m y los puntos puede estar a una distancia del origen hasta 50 km.

4.1.2. “Test of Network Stuttgart Central”

La segunda prueba se realizó con las coordenadas del “**Test of Network Stuttgart Central**” de la página 87 del libro **Solving Algebraic Computational Problems in Geodesy and Geoinformatics** del Dr. Erick W. Grafarend y el Dr. Joseph L. Awange, en esta se compararon las distancias entre los puntos fijos, con las distancias obtenidas a partir de coordenadas calculadas con el método de conversión.

Tabla 24. Coordenadas Geocéntricas Vértices Red Central de Stuttgart.

Punto	X (m)	Y (m)	Z (m)	σX (mm)	σY (mm)	σZ (mm)
DachK1	4157066,1116	671429,6655	4774879,3704	1,07	1,06	1,09
1	4157246,5346	671877,0281	4774581,6314	0,76	0,76	0,76
2	4156749,5977	672711,4554	4774981,5459	1,77	1,59	1,61
3	4156748,6829	671171,9385	4775235,5483	1,93	1,84	1,87
4	4157066,8851	671064,9381	4774865,8238	1,38	1,29	1,38
5	4157266,6181	671099,1577	4774689,8536	1,29	1,28	1,34
6	4157307,5147	671171,7006	4774690,5691	0,2	0,1	0,3
7	4157244,9515	671338,5915	4774699,9070	2,8	1,5	3,1

Fuente: elaboración propia.

Tabla 25.Coordenadas Geodésicas Vértices Red Central de Stuttgart.

Vértice	Latitud			Longitud			h (m)
	°	'	"	°	'	"	
DachK1(Origen)	48	46	54,939	9	10	29,671	353,250
Schlobplatz	48	46	42,514	9	10	49,893	293,680
Haubmannstr	48	46	59,745	9	11	34,127	359,025
Eduardpfeiffer	48	47	11,167	9	10	19,686	387,628
Lindenumuseum	48	46	56,047	9	10	12,027	305,253
Liederhalle	48	46	47,360	9	10	12,123	306,412
Dach LVM	48	46	46,110	9	10	15,312	341,174
Dach FH	48	46	47,166	9	10	23,870	325,028

Fuente: elaboración propia.

Tabla 26.Diferencias entre Distancia Calculada a partir de las Coordenadas y la Distancia Plana.

Vértice	Dist. Coordenadas (m)	Dist. Plano (m)	Diferencia (m)
K1-Schlobplatz	563,722	563,725	-0,003
K1-Haubmannstr	1324,226	1324,225	0,001
K1-Eduardpfeiffer	541,172	541,170	0,001
K1-Lindenumuseum	361,809	361,810	-0,001
K1-Liederhalle	427,972	427,973	-0,002
K1-Dach LVM	400,401	400,402	0,000
K1-Dach FH	267,747	267,748	-0,001

Fuente: elaboración propia.

Tabla 27. Desviación Estándar de la Comparación de Distancias.

σ (m)
0,002

Fuente: elaboración propia.

4.1.2.1. Análisis de Resultados

La comparación de la distancia obtenida a partir de las coordenadas planas y la distancia en el plano arroja una desviación estándar de 0,002 m, resultado que se encuentra dentro de la tolerancia de las estaciones totales de las casas Leica, Sokkia, Topcon y South, lo que evidencia la calidad con la que el método de conversión mantiene la escala sin verse afectada esta por las diferencias de elevación, ni la distancia al origen. Esto valida que la metodología propuesta, puede ser utilizada para la conversión de coordenadas locales y materialización de redes locales para obras de ingeniería, manteniendo la relación entre las mediciones con receptores GNSS y mediciones directas de campo utilizando distanciómetros electrónicos y goniómetros.

4.1.3. Red Geodésico-Topográfica UCV

La tercera prueba se realizó con los datos del TEG “*Establecimiento de una Red Geodésico-Topográfica en la Ciudad Universitaria de Caracas U.C.V*” bajo la Tutoría del Dr. Luis M, Liberal, en esta se evaluaron las distancias obtenidas por coordenadas con distancias obtenidas por mediciones de campo, y las coordenadas fijas con las coordenadas calculadas.

Para realizar los cálculos se utilizaron las coordenadas publicadas en el trabajo “*Evaluación de una Red Topográfica Mediante Técnicas Clásicas y GPS*” (Liberal, 2006) y las distancias de la tesis “*Establecimiento de una Red Geodésico-Topográfica en la Ciudad Universitaria de Caracas U.C.V*” bajo la tutoría del Dr. Luis Liberal. (Echerzuria S, Rivas, & Sira L, 1993)

Para la evaluación se utilizaron las coordenadas de los vértices Clínico, Economía, Estructural e Hidrometeorología, los cuales conforman la Red GPS de la UCV.

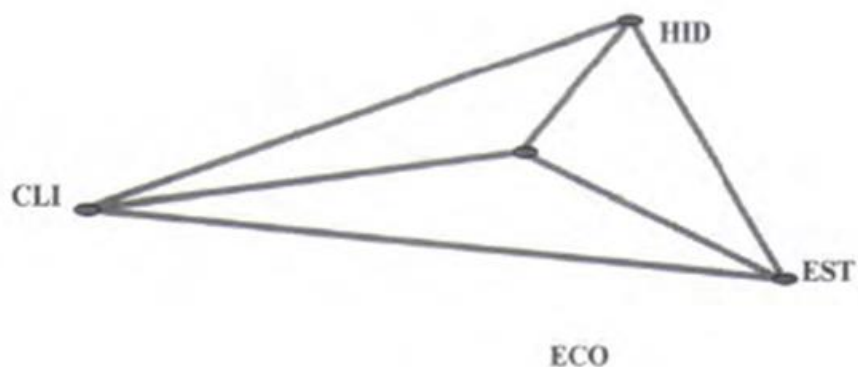


Figura 61. Red GPS UCV.

Fuente: (Liberal, 2006).

Tabla 28. Coordenadas Geodésicas Red GPS UCV.

	Latitud N			Longitud W			h
	°	'	"	°	'	"	
CLÍNICO	10	29	25,5799	66	53	39,4044	907,29
ECONOMÍA	10	29	30,0401	66	53	19,2017	881,908
ESTRUCTURAL	10	29	21,2381	66	53	6,5856	850,828
HIDRO	10	29	39,6929	66	53	14,1872	878,32

Fuente: (Liberal, 2006)

Tabla 29. Diferencias entre las Coordenadas de la Tesis (Echerzuria S, Rivas, & Sira L, 1993) y las Coordenadas Locales Calculadas.

	Tesis		Calculadas		Diferencias	
	Este (m)	Norte (m)	Este (m)	Norte (m)	ΔE (m)	ΔN (m)
CLÍNICO	4512,207	-1452,386	4512,271	-1452,677	-0,064	0,291
ECONOMÍA	5126,694	-1315,622	5126,694	-1315,622	0,000	0,000

	Tesis		Calculadas		Diferencias	
	Este (m)	Norte (m)	Este (m)	Norte (m)	ΔE (m)	ΔN (m)
ESTRUCTURAL	5510,253	-1586,290	5510,385	-1586,100	-0,132	-0,190
HIDRO	5279,332	-1019,068	5279,197	-1018,995	0,135	-0,073

Fuente: elaboración propia.

Tabla 30.Comparación de Distancias desde Economía.

Origen	Vértice	Coord. Tesis (m)	Coord. Calculadas (m)	Diferencias (m)
ECONOMIA	CLINICO	629,517	629,524	-0,007
	ESTRUCTURAL	469,436	469,443	-0,007
	HIDRO	333,539	333,533	0,006

Fuente: elaboración propia.

Tabla 31.Comparación de Distancia Clínico - Hidrometeorología.

Origen	Vértice	Coord. Tesis (m)	Coord. Calculadas (m)	Diferencias (m)
CLÍNICO	HIDRO	881,051	881,054	-0,003

Fuente: elaboración propia.

Tabla 32.Comparación de Distancia Estructural - Hidrometeorología.

Origen	Vértice	Coord. Tesis (m)	Coord. Calculadas (m)	Diferencias (m)
ESTRUCTURAL	HIDROLOGÍA	612,428	612,418	0,010

Fuente: elaboración propia.

Tabla 33.Desviación Estándar de las Distancias.

σ (m)
0,008

Fuente: elaboración propia.

4.1.3.1. Análisis de Resultados

Los resultados obtenidos permiten verificar la correlación entre los resultados conseguidos con técnicas clásicas y modernas de medición. Con una desviación estándar en la evaluación de distancias de 0,008 m, se valida la calidad con la que el método de conversión mantiene la escala y que las coordenadas locales a partir de mediciones satelitales pueden ser utilizadas en trabajos que requieran alta precisión, manteniendo relación con mediciones directas de campo. Este valor se encuentra dentro de la tolerancia del distanciómetro **Wild DI1600**, el cual fue utilizado en la campaña de medición en el año 1993 y cuenta con una **desviación típica de 5 mm + 5 ppm**, además este contrasta con el error medio de **0,006 m** para la Red Geodésico-Topográfica de la UCV. Las diferencias en las coordenadas nos permiten llegar a una conclusión debido a la incertidumbre que existe en la calidad de la coordenada Origen utilizada para materializar la red.

Todos los cálculos fueron realizados utilizando la aplicación GeoLocalConvert, desarrollada para el presente trabajo.

Luego de validar el método de conversión seleccionado, se realizaron mediciones GNSS en distintos vértices de la CUC para realizar la actualización de sus Coordenadas Geodésicas y sus Coordenadas Locales.

4.2. Cálculo de coordenadas vértice G-2

Para lograr la vinculación de la Red Geodésico-Topográfica de la UCV con SIRGAS se calcularon las coordenadas del vértice G-2, con los servicios de procesamiento en línea AUSPOS y CSRS, adicional se calculó la solución PPP con la aplicación digital g-LAB, obteniendo los resultados mostrados en la tabla 34.

Tabla 34. Coordenadas Geodésicas Calculadas Vértice G-2.

	Latitud N			Longitud W			h (m)	$\sigma \phi$ (m)	$\sigma \lambda$ (m)	σh (m)
	°	'	"	°	'	"				
AUSPOS	10	29	27,45507	66	53	23,93771	845,835	0,006	0,012	0,025
g-LAB	10	29	27,455068	66	53	23,937835	845,845	0,014	0,011	0,027
CSRS	10	29	27,45518	66	53	23,93722	845,940	0,004	0,021	0,024

Fuente: elaboración propia.

La coordenada seleccionada para el vértice G-2 fue la solución obtenida con AUSPOS, debido a que este servicio realiza el cálculo utilizando el software científico Bernese 5.2, en la modalidad estático relativo, utilizando orbitas finales del IGS, parámetros de orientación (EOP), corrección del centro de fase de la antena y centro de masa del satélite, modelo de mareas según convenciones del IERS y vinculándose a la estaciones IGS más cercanas, para este caso utilizo las estaciones MANA y BOGT las cuales pertenecen al IGS y a SIRGAS, garantizando así la vinculación con el Marco de Referencia Continental. Las soluciones PPP no fueron tomadas para el cálculo debido que la solución absoluta no garantiza la vinculación con el marco de referencia continental.

Con estos resultados resulta evidente la diferencia entre las soluciones obtenidas con AUSPOS y CSRS, con una diferencia en Altura elipsoidal de 10 cm, cumpliendo esto con resultados de distintos trabajos de investigación. (Hoda F. Mohamed, 2007) (Ocalan, Erdogan, Tunalioglu, & Durdag, 2016).

4.3. Cálculo Coordenadas Estación REMOS CRCS

Debido a la incertidumbre de las coordenadas de la estación REMOS CRCS, se realizó el cálculo de esta desde el vértice G-2, para así contar con un vértice en REGVEN, para validar este cálculo la coordenada obtenida fue comparada con coordenadas obtenidas para esta misma estación aplicando diferentes metodologías y calculada por distintos autores e instituciones, para esto todas fueron llevadas al marco ITRF14 y a la época de observación de la estación CRCS (Época 2018,4684), este proceso se realizó con la aplicación digital ITRFTrans de desarrollo propio y el software Velinter (Drewes & Heidbach, 2009) obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 35. Coordenadas Geocéntricas de la Estación REMOS CRCS Calculadas con Distintas Técnicas.

		X (m)	Y (m)	Z (m)	σ X (m)	σ Y (m)	σ Z (m)
Spectrum SOKKIA Base (G-2)	CRCS	2459721,849	- 5770508,853	1155112,179	0,001	0,001	0,002
g-LAB	CRCS	2459721,852	- 5770508,851	1155112,176	0,005	0,007	0,002
AUSPOS	CRCS	2459721,848	- 5770508,867	1155112,177	0,005	0,003	0,010
CSRS	CRCS	2459721,868	- 5770508,905	1155112,192	0,002	0,007	0,011
Acuña 2014	CRCS	2459721,858	- 5770508,856	1155112,178			
Acuña 2014	CRCS	2459721,857	- 5770508,856	1155112,175			
LGO V7.0	CRCS	2459721,825	- 5770508,811	1155112,171			
SIRGAS 2013	CRCS	2459721,858	- 5770508,852	1155112,180			
SIRGAS 2013	CRCS	2459721,856	- 5770508,849	1155112,180			
SIR9011	CRCS	2459721,892	- 5770508,847	1155112,185			
SIR 1721	CRCS	2459721,854	- 5770508,849	1155112,181			
g-LAB	CRCS	2459721,852	- 5770508,851	1155112,176	0,005	0,007	0,002
RTK LIB	CRCS	2459721,798	- 5770508,857	1155112,168			
RTKLIB + Columbus	CRCS	2459721,846	- 5770508,861	1155112,197	0,059	0,087	0,032

Fuente: elaboración propia.

Tabla 36. Diferencias entre las Coordenadas Calculadas desde G-2 y las Obtenidas con Distintas Técnicas.

	Dif X (m)	Dif Y (m)	Dif Z (m)
g-LAB	-0,004	-0,002	0,003
AUSPOS	0,001	0,014	0,002
CSRS	-0,019	0,052	-0,013
Acuña 2014	-0,009	0,003	0,001

	Dif X (m)	Dif Y (m)	Dif Z (m)
Acuña 2014	-0,008	0,003	0,005
LGO V7.0	0,023	-0,042	0,008
SIRGAS 2013	-0,010	-0,001	-0,001
SIRGAS 2013	-0,008	-0,003	-0,001
SIR9011	-0,044	-0,006	-0,006
SIR 1721	-0,005	-0,004	-0,002
g-LAB	-0,003	-0,002	0,003
RTK LIB Promedio	0,051	0,004	0,011
RTKLIB + Columbus	0,003	0,009	-0,018

Fuente: elaboración propia.

Tabla 37. Coordenadas Geodésicas de la Estación REMOS CRCS Calculadas con Distintas Técnicas.

		Latitud (N)			Longitud (W)			h
		°	'	"	°	'	"	
Spectrum SOKKIA								
Base G-2	CRCS	10	30	9,11197	66	54	48,65783	913,027
g-LAB	CRCS	10	30	9,11182	66	54	48,65802	913,039
AUSPOS	CRCS	10	30	9,11187	66	54	48,65770	913,026
CSRS	CRCS	10	30	9,11203	66	54	48,65792	913,084
Acuña 2014	CRCS	10	30	9,11189	66	54	48,65758	913,033
Acuña 2014	CRCS	10	30	9,11178	66	54	48,65762	913,032
LGO V7.0	CRCS	10	30	9,11199	66	54	48,65799	912,979
SIRGAS 2013	CRCS	10	30	9,11198	66	54	48,65753	913,030
SIRGAS 2013	CRCS	10	30	9,11200	66	54	48,65756	913,027

		Latitud (N)			Longitud (W)			h
		°	'	"	°	'	"	
SIR9011	CRCS	10	30	9,11209	66	54	48,65642	913,040
SIR 1721	CRCS	10	30	9,11203	66	54	48,65763	913,026
g-LAB	CRCS	10	30	9,11187	66	54	48,65771	913,026
RTK LIB	CRCS	10	30	9,11171	66	54	48,65941	913,009
RTKLIB + Columbus	CRCS	10	30	9,11249	66	54	48,65803	913,037

Fuente: elaboración propia.

Tabla 38. Diferencias entre las Coordenadas Calculadas desde G-2 y las Obtenidas con Distintas Técnicas.

	Dif ϕ (m)	Dif λ (m)	Dif h (m)
g-LAB	0,004	-0,006	-0,012
AUSPOS	0,003	0,004	0,001
CSRS	-0,002	-0,003	-0,057
Acuña 2014-VEMOS 15	0,002	0,007	-0,006
Acuña 2014-APKIM	0,006	0,006	-0,005
LGO V7.0	-0,001	-0,005	0,048
SIRGAS 2013-VEMOS15	0,000	0,009	-0,003
SIRGAS 2013-APKIM	-0,001	0,008	0,000
SIR9011	-0,004	0,042	-0,013
SIR 1721	-0,002	0,006	0,001
g-LAB	0,003	0,004	0,001
RTK LIB	0,008	-0,048	0,018
RTKLIB + Columbus	-0,016	-0,006	-0,010

Fuente: elaboración propia.

4.3.1. Análisis de Resultados

La comparación de las coordenadas con las obtenidas utilizando los servicios en línea AUSPOS y CSRS, arroja las mayores diferencias usando el servicio CSRS, siguiendo el mismo comportamiento que con el vértice G-2, a pesar de ser dos soluciones independientes. La diferencia respecto a las coordenadas calculadas por Acuña 2014 y la solución Semanal (Semana GPS 1721), son milimétricas lo que según la clasificación de vértices del IGVSB entra en el orden A.

La solución PPP obtenida con g-LAB, son milimétricas en X y Y en Z aumenta a 1,2 cm, resultados que confirman que el cálculo realizado con la solución PPP, de manera rigurosa y utilizando archivos de ionosfera, corrección DCB, efemérides precisas, corrección del reloj y corrección PCV de la antena, vuelven la técnica PPP una alternativa para la materialización de puntos en zonas de difícil acceso, garantizando calidad para ejecución de obras de ingeniería de mediana envergadura y georreferenciación de estudios geofísicos, así como la vinculación con el marco de referencia global.

En el caso de la solución obtenida con RTKLIB (Promedio Ponderado y Combinación Columbus), la cual fue calculada desde 6 estaciones del IGS, presenta diferencias menores a 2 cm con la combinación en Columbus, y 5 cm con la combinación obtenida realizando un promedio ponderado de las soluciones individuales de RTKLIB, estos resultados convierten a la aplicación RTKLIB en una excelente alternativa de código abierto para el desarrollo de distintas investigaciones confirmando el potencial de los cálculos y la calidad de sus resultados.

Estos resultados confirman que un correcto procesamiento y análisis de los datos, así como el cumplimiento de la jerarquización de los marcos de referencia, permiten obtener soluciones con calidades para ingeniería y catastro utilizando distintas metodologías de procesamiento, ampliando así las posibilidades de los usuarios.

4.4. Coordenadas Vértices BIO y Estructural

Una vez calculadas las coordenadas del Vértice G-2 y la estación CRCS, se realizó la vinculación de la red de la CUC con REGVEN a través de los vértices BIO y ESTR, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 39. Coordenadas Geodésicas Referidas al ITRF14 Época 2018,4684 de los Vértices BIO y ESTRUC, Calculadas con Spectrum Survey Office.

	Latitud N			Longitud W			h	$\sigma \phi$ (m)	$\sigma \lambda$ (m)	σh (m)
	°	'	"	°	'	"				
CRCS	10	30	9,11197	66	54	48,6578	913,027	0,002	0,002	0,001
G2	10	29	27,4551	66	53	23,9377	845,835	0,006	0,012	0,025
BIO	10	29	31,2373	66	53	12,4003	856,933	0,002	0,001	0,002
ESTRUC	10	29	21,2475	66	53	6,54902	850,038	0,001	0,002	0,003

Fuente: elaboración propia.

Tabla 40. Coordenadas Geocéntricas Referidas al ITRF14 Época 2018.4684 de los Vértices BIO y ESTRUC, Calculadas con Spectrum Survey Office.

	X (m)	Y (m)	Z (m)
CRCS	2459721,8486	-5770508,8528	1155112,1793
G2	2462157,3920	-5769651,8010	1153841,2620
BIO	2462476,0898	-5769504,6425	1153957,5653
ESTRUC	2462659,0370	-5769479,9564	1153654,4595

Fuente: Elaboración propia.

El cálculo se realizó con dobles diferencias de fase (L1 & L2), y las coordenadas fueron ajustadas utilizando “mínimas restricciones”, para así minimizar el efecto de la geometría de la red.

Las coordenadas obtenidas están referidas al ITRF14 época 2018,4684, al ser el marco de referencia oficial ITRF94 y la época 1995,4 fue necesario realizar la transformación utilizando los parámetros del IERS, la aplicación ITRFTrans de desarrollo propio y Velinter (Drewes & Heidbach, 2009), obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 41. Coordenadas Geodésicas Referidas al ITRF94 Época 1995,4 de los Vértices BIO y ESTRUC.

	Latitud N			Longitud W			h
	°	'	"	°	'	"	
CRCS	10	30	9,10172	66	54	48,6607	913,0593
G2	10	29	27,4448	66	53	23,9406	845,8677
BIO	10	29	31,2271	66	53	12,4031	856,9653
ESTRUC	10	29	21,2372	66	53	6,55188	850,0703

Fuente: elaboración propia.

Tabla 42. Coordenadas Geocéntricas Referidas al ITRF94 Época 1995,4 de los Vértices BIO y ESTRUC.

	X (m)	Y (m)	Z (m)
CRCS	2459721,8036	-5770508,9688	1155111,8755
G2	2462157,3470	-5769651,9171	1153840,9582
BIO	2462476,0448	-5769504,7586	1153957,2614
ESTRUC	2462658,9921	-5769480,0725	1153654,1557

Fuente: elaboración propia.

4.5. Cálculo de las Coordenadas Locales

Para el cálculo de las coordenadas locales se utilizó la herramienta JAG-3D y se vincularon mediante vectores topocéntricos las coordenadas obtenidas mediante mediciones GNSS, con las coordenadas obtenidas mediante la técnica Ntrip del TEG de la Ing. Arleidy Infante en el año 2015 (Infante, 2015), obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 43. Coordenadas Locales Calculadas con el Ajuste Realizado en JAG-3D.

Vértice	E (m)	N (m)	H (m)
ESTRUC	5510,2595	-1586,21498	867,5914
BIO	5332,3065	-1279,2152	874,4864
F1	4930,1964	-1484,003	863,8355

Vértice	E (m)	N (m)	H (m)
F2	4961,2965	-1388,6619	863,4615
F3	4992,1835	-1400,041	863,3845
F4	4964,8455	-1494,6354	863,2405
G2	4981,4232	-1395,4594	863,3889

Fuente: Elaboración propia.

Para validar la calidad del ajuste de la red y de las coordenadas obtenidas, estas fueron comparadas con mediciones realizadas utilizando la Estación Total de la casa Topcon, Modelo GTS-239W, la cual viene con una desviación estándar en distancias dada por la fórmula: $3 \text{ mm} + 3 \text{ ppm} * D$, donde D es la distancia en metros. En esta prueba se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 44. Comparación de Distancias Medidas con Estación Total - Distancias Calculadas con Coordenadas.

	Dist. Medida (m)	Dist. Coordenadas (m)	Diferencias (m)
G2-F3	11,718	11,695	0,023
G2-F4	100,536	100,552	-0,016
G2-F1	102,282	102,294	-0,012
G2-F2	21,276	21,244	0,033
F2-F4	105,979	106,033	-0,054
F3-F4	98,460	98,466	-0,005
F2-F3	32,968	32,916	0,052
F1-F2	100,261	100,285	-0,024
F1-F3	104,348	104,365	-0,016

Fuente: elaboración propia.

Tabla 45. Desviación Estándar de la Comparación de Distancias Medidas con Estación Total – Distancias Calculadas por Coordenadas.

σ (m)
0,032

Fuente: elaboración propia.

4.5.1. Análisis de Resultados

Los resultados obtenidos reflejan la calidad del ajuste de la red, las diferencias están en el rango esperado y la desviación estándar obtenida de **0,032 m** es reflejo de la calidad de las mediciones GNSS con Ntrip. Se comprueba con esto la correlación que existe entre las mediciones con técnicas clásicas y las coordenadas locales obtenidas con técnicas modernas, garantizando precisiones para catastro y actividades complementarias de posicionamiento, calificando en el Orden C de la clasificación propuesta por el IGVSb.

4.6. Vinculación de Productos Cartográficos en Escalas Grandes con el Marco de Referencia Nacional

4.6.1. Plano Instituto Ciudad Universitaria Año 1952

Tabla 46. Diferencias entre las Coordenadas Calculadas y las Coordenadas de la Cuadrícula del Plano de 1952 Elaborado por el Instituto Ciudad Universitaria.

Coord. Calculadas		Coord. Cuadrícula		Diferencias	
E (m)	N (m)	E (m)	N (m)	Δ E (m)	Δ N (m)
4900,32	-599,35	4900	-600	0,32	0,65
5500,13	-700,20	5500	-700	0,13	-0,20
5599,99	-999,99	5600	-1000	-0,01	0,01
5000,44	-1100,30	5000	-1100	0,44	-0,30
5999,97	-1100,04	6000	-1100	-0,03	-0,04
5100,02	-499,78	5100	-500	0,02	0,22
5900,18	-599,84	5900	-600	0,18	0,16
5100,25	-1000,08	5100	-1000	0,25	-0,08
5400,43	-900,04	5400	-900	0,43	-0,04
5700,04	-900,16	5700	-900	0,04	-0,16

Fuente: elaboración propia.

Tabla 47. Desviación Estándar de las Diferencias entre las Coordenadas Calculadas y las Coordenadas de la Cuadrícula del Plano de 1952 Elaborado por el Instituto Ciudad Universitaria.

σ E (m)	σ N (m)	σ PLANO (m)
0,26	0,27	0,371

Fuente: elaboración propia.

4.6.2. Plano Generado en el Marco del Plan Caracas, año 1975

Tabla 48. Diferencias entre las Coordenadas Calculadas y las Coordenadas de la Cuadrícula del Plano de 1975 Elaborado en el Marco del Plan Caracas.

Coord. Calculadas		Coord. Cuadrícula		Diferencias	
E (m)	N (m)	E (m)	N (m)	Δ E (m)	Δ N (m)
4599,96	-1399,96	4600	-1400	-0,042	0,045
4700,06	-1599,93	4700	-1600	0,063	0,069
4999,75	-1399,90	5000	-1400	-0,253	0,098
5099,91	-1699,88	5100	-1700	-0,088	0,118
5099,92	-1299,89	5100	-1300	-0,077	0,113
4700,07	-1299,95	4700	-1300	0,071	0,050
4799,91	-1499,89	4800	-1500	-0,092	0,114
5300,01	-1500,04	5300	-1500	0,005	-0,045
5099,94	-1599,96	5100	-1600	-0,064	0,041
5099,90	-1399,95	5100	-1400	-0,101	0,052

Fuente: elaboración propia.

Tabla 49. Desviación Estándar de las Diferencias entre las Coordenadas Calculadas y las Coordenadas de la Cuadrícula del Plano de 1975 Elaborado en el Marco del Plan Caracas.

σ E (m)	σ N (m)	σ PLANO (m)
0,11	0,08	0,140

Fuente: elaboración propia.

4.6.3. Plano Generado en el Año 1992 por el Departamento de Ingeniería Geodésica y Agrimensura-UCV

Tabla 50. Diferencias entre las Coordenadas Calculadas y las Coordenadas de la Cuadrícula del Plano 1992 Elaborado por el Departamento de Ingeniería Geodésica y Agrimensura-UCV.

Coord. Calculadas		Coord. Cuadrícula		Diferencias	
E (m)	N (m)	E (m)	N (m)	ΔE (m)	ΔN (m)
4900,32	-599,35	4900	-600	0,32	0,65
5500,13	-700,20	5500	-700	0,13	-0,20
5599,99	-999,99	5600	-1000	-0,01	0,01
5000,17	-1100,05	5000	-1100	0,17	-0,05
5999,97	-1100,04	6000	-1100	-0,03	-0,04
5100,02	-499,78	5100	-500	0,02	0,22
5900,18	-599,84	5900	-600	0,18	0,16
5100,25	-1000,08	5100	-1000	0,25	-0,08
5400,26	-899,90	5400	-900	0,26	0,10
5700,08	-900,03	5700	-900	0,08	-0,03

Fuente: elaboración propia.

Tabla 51. Desviación Estándar de las Diferencias entre las Coordenadas Calculadas y las Coordenadas de la Cuadrícula del Plano de 1992 Elaborado por el Departamento de Ingeniería Geodésica y Agrimensura-UCV.

σE (m)	σN (m)	$\sigma PLANO$ (m)
0,188	0,247	0,310

Fuente: elaboración propia.

4.6.4. Análisis de resultados

Al evaluar la calidad de la georreferenciación se obtienen desviaciones estándar en el plano del año **1952 de 0,371 m**, en el plano del año **1975 de 0,14 m** y en plano del año **1992 de 0,310 m**, estos resultados cumplen con las tolerancias establecidas en las **Normas PDVSA de Cartografía** (PDVSA P. d., 2017), el cual establece una desviación estándar para productos en escala **1:1000 de 0,54 m**, además se evidencia la calidad de la coordenada G-2 calculada con la herramienta GeoLocalConvert. Esto valida que el método de conversión propuesto puede ser utilizado para recuperación de la cartografía municipal, la cual se encuentra en el sistema plano Loma Quintana y fue realizada con distintas técnicas.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Al finalizar el presente trabajo, se puede concluir:

- ✓ Se cumplieron todos los objetivos planteados como parte de la investigación.
- ✓ La investigación desarrollada en el presente trabajo especial de grado, se encuentra alineada con las necesidades esbozadas por la Asociación Internacional de Geodesia (IAG) y el Sistema Geodésico de Observación Global (GGOS), quienes plantean la necesidad de la infraestructura geodésica de precisión como un aporte al desarrollo de la sociedad.
- ✓ La evaluación de la calidad de la metodología propuesta utilizando las ecuaciones de conversión de coordenadas Geocéntricas a Topocéntricas y viceversa (IOGP, 2018), representa una alternativa para la materialización de Sistemas Locales de Posicionamiento con mediciones GNSS, garantizando la exactitud y la correlación con mediciones directa de campo, alcanzando las exactitudes necesarias para catastro y manteniendo la estructura jerárquica de los marcos de referencia y la correlación directa entre ellos.
- ✓ La metodología de conversión propuesta en este trabajo especial de grado garantiza la materialización de “Marcos de Referencia Geodésicos para Ingeniera Civil”, con la exactitud necesaria para la ejecución y el control de obras de ingeniería en todos sus niveles y la correlación con mediciones directas de campo fundamental en labores de replanteo y control de obras.
- ✓ La compensación rigurosa de la red, utilizando cuadrados mínimos, garantiza que un sistema local definido con una red geodésica compensada no presenta diferencias si cambiamos el origen de coordenadas, por cualquier otro punto de la red, para el cálculo de la conversión.

- ✓ Las coordenadas Geodésicas actualizadas de los vértices BIO y ESTRUC, pertenecientes a la Red Geodésica - Topográfica de la UCV y los Vértices F1, F2, F3, F4 y G-2, cumplen con las exactitudes necesarias para vértices orden B, según la clasificación propuesta por el IGVS. Estos pueden ser utilizados en trabajos de investigación y como apoyo para el posicionamiento dentro de la UCV y áreas adyacentes. En el caso de las coordenadas locales, estas cumplen con las exactitudes necesarias para el catastro evidenciándose esto en la desviación estándar de $\pm 0,031$ m entre mediciones de distancias con estación total y las calculadas con las coordenadas locales.
- ✓ La reversibilidad de la conversión permite la vinculación de productos en escalas grandes con el Marco de Referencia Nacional, permitiendo así relacionar productos ejecutados con técnicas clásicas (Levantamientos Topográficos y Fotogrametría Analógica) y en un sistema plano rectangular con el Datum Geocéntrico, garantizando su exactitud ya que la evaluación realizada se encuentra dentro de la tolerancia propuesta en la norma de Cartografía de PDVSA (PDVSA P. d., 2015). Además, las evaluaciones realizadas con planos en el Datum Loma Quintana permiten inferir acerca de la calidad de las coordenadas locales calculadas para el vértice G-2, el cual fue utilizado como origen para la conversión.
- ✓ La ejecución de mediciones GNSS cumpliendo una planificación rigurosa y el post-proceso de estas, utilizando doble diferencias de fase, efemérides precisas, corrección de la antena, parámetros de la tierra EOP, garantizan la generación de coordenadas precisas, siendo la calidad de las coordenadas un factor fundamental para garantizar la exactitud de la conversión de coordenadas con el método propuesto, esto se evidencia en la calidad de la coordenada calculada para la estación REMOS CRCS, la cual presenta diferencias en el orden del milímetro cuando es comparada con coordenadas calculadas con distintas técnicas en distintas épocas.
- ✓ El cálculo de coordenadas con solución PPP, es una estrategia que puede ser utilizada para la materialización de puntos con precisiones centimétricas sin embargo no hay garantía de la vinculación con el marco de referencia nacional,

debido a que la solución es calculada de manera absoluta utilizando efemérides precisas, corrección del centro de fase de la antena, corrección del centro de masa del satélite, corrección del reloj, parámetros de orientación de la Tierra, corrección por mareas terrestres y corrección DCB. El no utilizar estos productos reduce la calidad con la cual es calculada la solución final. Esto se evidencia en la calidad de los resultados obtenidos en el cálculo de G-2 con g-Lab comparado con la solución obtenida con el servicio en línea CSRS.

- ✓ La capacidad de vincular los Sistemas Locales de Posicionamiento (LPS) con el Marco de Referencia Nacional y cumpliendo con la jerarquización de los marcos de referencia, garantiza la correlación con el ITRF y el Sistema Internacional de Referencia de Alturas (IHRF, por sus siglas en inglés) y su futura materialización continental, abriendo la posibilidad de actualización constante por efectos geodinámicos de los Sistemas Locales.

5.2. Recomendaciones

- ✓ La correcta vinculación entre el Marco de Referencia Terrestre Global, Continental y Nacional, garantiza la exactitud en los niveles Estatal y Municipal los cuales requieren una infraestructura geodésica precisa y confiable para el desarrollo de actividades fundamentales para la sociedad, lo que amerita sean actualizados los estándares y los requerimientos de exactitud propuestos en la actualidad por el organismo rector de la geodesia y la cartografía en el país.
- ✓ El manejo consistente de los marcos de referencia permite la vinculación de coordenadas calculadas en distintas épocas, las cuales pueden ser correlacionadas transformándolas a un marco de referencia y época seleccionada, en este sentido el modelo de velocidades seleccionado tiene un mayor impacto en la transformación que el modelo de similaridad de Helmert-7 parámetros, propuesto por el IERS.
- ✓ Se recomienda la actualización de REGVEN garantizando precisiones ≤ 1 cm para los vértices pasivos en un marco y época fijo, siendo esto fundamental para el desarrollo de la geodesia y la recuperación de la cartografía en nuestro país.
- ✓ Se recomienda el fortalecimiento de REMOS, y que esta sea concebida como la materialización del Datum Cinemático para nuestro país, garantizando precisiones ≤ 1 cm, y permita la utilización de modelos de velocidades para la actualización de las estaciones pasivas, representando la vinculación entre el marco de referencia continental y el marco de referencia nacional.
- ✓ Se recomienda al ente rector ampliar la investigación expuesta en este trabajo con miras a la generación de normas rigurosas para la materialización de redes geodésicas municipales y redes geodésicas para obras de ingeniería.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT, A. B. (Agosto de 1998). Rede de Referência Catastral-Procedimento. Río de Janeiro, Brasil: Asociacion Brasileira de Normas Tecnicas.
- Acuña, G., Balcazar, F., Hernández, N., Álvarez, R., Royero, G., Barrios, M., . . . Ocando, M. (Septiembre de 2014). Estimación de Coordenadas Iniciales GNSS de la Red Permanente REMOS Ampliada en Venezuela 2014.3. Maracaibo, Zulia, Venezuela: Universidad del Zulia.
- Angermann, D. (2015). *GGOS Bureau of Products and Standards Inventory of Standards and Conventions for Geodesy*. Springer.
- Arias, F. (Julio de 2012). El Proyecto de Investigación 6ta Edición. Caracas, Venezuela: Editorial Episteme.
- Benítez, R. (17 de Julio de 2014). Notas de Clases Geodesia II (REDES). Caracas, Venezuela.
- Blanco E, P. A., & Rojas, E. (11 de marzo de 2015). Definición de Planos Topográficos Locales para un Caso de Estudio, Poligonal Chocontá-Suesca, Siguiendo la Metodología Planteada por la Norma Brasileira NBR 14166. Bogotá, Colombia: Universidad Distrital Francisco José de Caldas.
- Castillo, H. (15 de Noviembre de 2015). Individualización de Zonas y Rangos de Deformación Horizontal en Chile para Proyectos de Ingeniería de Detalle a partir de la Estandarización de Parámetros Geodésicos y Cartográficos utilizando SIRGAS como Marco de Referencia. Simposio SIRGAS 2015.
- China Navigation Satellite Office, (. (2013). *BeiDou Navigation Satellite System*.
- Cioce, V., Martínez, W., Mackern, M., Pérez, R., & de Freitas, S. (julio de 2017). SIRGAS en el Contexto del Marco de Referencia Geodésico Global (GGRF): Evolución, Alcances y Perspectivas. Caracas, Venezuela: II CONGRESO VENEZOLANO DE TECNOLOGIA ESPACIAL.
- Corps, U. A. (1996). *US Army Corps-Engineer Manual EM-1110-1-1003*. Washington: US Army Corps Engineers.

- Correa M, N. A., & Ceron C, L. A. (2018). Precisión y exactitud del método GNSS en modo estático para redes topográficas utilizadas en ingeniería civil. *Ingeniería e Investigación Vol 38*, 52-59.
- Drewes, H. (08 de junio de 2008). Retos futuros de la geodesia: El Sistema de Observación Global Geodésica. Bogota, Colombia.
- Drewes, H., & Heidbach, O. (Septiembre de 2009). The 2009 horizontal velocity model for South America and the Caribbean. Buenos Aires, Argentina: IAG Symposia Series.
- Drewes, H., & Jose, H. (1997). *Adjustment of the New Venezuelan National GPS Network Within the SIRGAS Reference Frame*. Brazil: SIRGAS.
- Echerzuria S, B., Rivas, E. Y., & Sira L, L. (Mayo de 1993). Establecimiento de una Red Geodésico-Topográfica en la Ciudad Universitaria de Caracas-UCV. Caracas, Venezuela: Universidad Central de Venezuela.
- EGSA. (s.f.). <https://www.gsa.europa.eu/european-gnss/what-gnss>. Recuperado el 3 de Septiembre de 2018, de <https://www.gsa.europa.eu/european-gnss/what-gnss>
- Engineers, U. A. (1 de Enero de 2007). Engineer Manual. *Control and Topographic Surveying*. Washington, Estados Unidos de America: Department of the Army US Army Corps Engineers.
- Ferreccio, N. (15 de septiembre de 2006). Análisis de la Técnica RTK. La Plata, Argentina: Editorial de la Universidad de la Plata.
- FIG. (2017). *Manual de Marcos de Referencia en la Práctica*. International Federations of Surveyors (FIG).
- Furomes, M. A. (2001). *Sistema y Marco de Referencia Terrestre. Sistemas de Coordenadas*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- Geospatial-Intelligence, A. N. (s.f.). http://www.unoosa.org/pdf/icg/2012/template/WGS_84.pdf. Recuperado el 3 de Septiembre de 2018, de http://www.unoosa.org/pdf/icg/2012/template/WGS_84.pdf
- Grafarend, E., & Awange, J. (2005). *Solving Algebraic Computational problems in Geodesy and Geoinformatics*. Stuttgart, Alemania: Springer.
- Hernandez, J. (2002). *Evolución y estado actual del sistema de referencia geocéntrico en Venezuela*. Caracas: IGVSB.

- Hoda F, M., Sherine S, I., & Gooma M, D. (2007). Assesment of Cost-Efective GPS Data Processing Alternative In Egypt Utilizing International Online Processing Service. *Civil Engineering Research Magazine*.
- Hoda F. Mohamed, S. S. (2007). Assesment of Cost-Efective GPS Data Processing Alternative In Egypt Utilizing International Online Processing Service. *Civil Engineering Research Magazine*.
- Hofmman-Wellenhof. (2008). GNSS Global Navigation Satellite System. En *GNSS Global Navigation Satellite System* (pág. 341). Morlenbach: Springer.
- Huerta, E., Mangiaterra, A., & Noguera, G. (2005). *GPS Posicionamiento Satelital*. Rosario: UNR.
- Ibáñez, D., A, R.-G., J, S., JM, J., G, G.-C., D, J.-B., & C., L.-E. (8 de Diciembre de 2018). The GNSS Laboratory Tool Suite (gLAB) updates: SBAS, DGNSS and Global Monitoring System. Paisas Bajos: NAVITEC 2018.
- ICSM, I. C. (24 de Seotiembre de 2014). Guideline for Control Surveys by GNSS. Australia: Intergovernmental Committee on Surveying and Mapping ICSM.
- ICSM, I. C. (24 de Septiembre de 2014). Guideline for the Adjustment and Evaluation of Survey Control. Australia: Intergovernmental Committee on Surveying and Mapping ICSM.
- iers.org. (s.f.). *iers.org*. Recuperado el 3 de Septiembre de 2018, de <https://www.iers.org/IERS/EN/DataProducts/ITRS/itrs.html>
- IGVSB, I. G. (2000). Normas Para el Establecimiento de la Red Geodésica Municipal utilizando GPS. Caracas, Venezuela: IGVSB.
- IGVSB, I. G. (2000). Normas para refereir levantamientos geodésicos y topográficos al sistema de referencia nacional. Caracas, Venezuela: IGVSB.
- IMCA, & OGP. (junio de 2011). Guidelines for GNSS positioning in Oil & Gas Industry. IMCA 015.
- Infante, A. (2015). Aplicación de la Metodología NTRIP en Levantamientos Topográficos con Fines Catastrales. Caracas: Universidad Central de Venezuela.

- IOGP, I. O. (octubre de 2018). Geomatics Guidance Note 7, part 2 Coordinate Conversions & Transformations including Formulas. International Organization of Gas and Oil Producer IOGP.
- ISO, 1. (15 de Marzo de 2003). *Sistemas de Referencia Espaciales*. Organizacion Internacional de Normalización.
- itrf.ensg.ign. (s.f.). <http://itrf.ensg.ign.fr/general.php>. Recuperado el 3 de Septiembre de 2018, de <http://itrf.ensg.ign.fr/general.php>
- Justel, J. J. (26 de abril de 2013). Diseño, optimización y análisis de sistemas basados en técnicas láser, para el modelado geométrico, registro y documentación, aplicados a entidades de interés patrimonial. Madrid, España: Universidad Politecnica de Madrid.
- Krakiwsky, E., & Wells, D. (1973). *Sistemas de Coordenadas en Geodesia*. New Brunswick: Universidad de New Brunksick.
- Liberal, L. (2006). *Evaluación de una Red Topográfica Mediante Técnicas Clásicas y GPS*. Caracas, Venezuela.
- Liberal, L. (julio de 2013). Contribución al Estudio de la Vinculación entre Sistemas Internacionales de Referencia Celeste, Terrestre, Continental y Nacional con REGVEN. Caracas, Venezuela: Universidad Central de Venezuela.
- Martinez T, J. A. (2013). *Sistema Galileo*. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya.
- Moritz., H. (2000). Geodetic Reference System 1980 . *Journal of Geodesy*, vol. 74, issue 1, 128-162.
- Mugnier, C. J. (2000). Grids and Datums. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 3.
- NRC, N. R. (27 de febrero de 2019). National Standards for the Survey of Canada Lands. Natural Resources Canada.
- Ocalan, T., Erdogan, B., Tunalioglu, N., & Durdag, M. (2016). Accuracy Investigation of PPP Method Versus Relative Positioning Using Different Satellite Ephemerides Products Near/Under Forest Environment. *EARTH SCIENCES RESEARCH JOURNAL*.

- PDVSA, P. d. (2015). Manual de Geodesia, Capítulo 1, Especificaciones Técnicas. *GEO-01-02-06 Control Geodésico y Topográfico Levantamientos Sísmicos*. Venezuela: PDVSA.
- PDVSA, P. d. (mayo de 2017). Manual de Geodesia, Capítulo 1, Especificaciones Técnicas. *GEO-01-02-03 CARTOGRAFIA*. Venezuela: PDVSA.
- PDVSA, P. d. (mayo de 2017). Manual de Geodesia, Capítulo 1, Especificaciones Técnicas. *GEO-02-01-02 Levantamientos Topográficos*. Venezuela: PDVSA.
- Pereira, R., & Bravo, D. (2015). *Control de Excavación y Proyecto del Concreto de Revestimiento Primario del Foso de Mantenimiento Rosaleda*. Caracas: Universidad Central de Venezuela.
- Plag, H.-P., & Altmini, Z. (2009). The goals, achievements, and tools of modern Geodesy. En Z. A. H.-P. Plag, *Global Geodetic Observing System: Meeting the requirements of a global society on a changing planet in 2020* (págs. 15-88). Springer.
- Sabino, C. (1992). *El Proceso de Investigación*. Caracas: Panapo.
- Sanchez, L., & Dewes, H. (2016). Crustal deformation and surface kinematics after the 2010 earthquakes in Latin America. *Crustal deformation and surface kinematics after the 2010 earthquakes in Latin America*. PANGAEA.
- Seeber, G. (2003). *Satellite Geodesy, Second Edition*. New York: Walter de Gruyter.
- Steir, L., & Stuart, W. (6 de Junio de 2014). Teqc Tutorial: Basics of Teqc Use and Teqc Products. Boulder, Colorado, USA: UNAVCO.
- Swisstopo, F. O. (diciembre de 2016). Formulas and constants for the calculation and for the transformation between coordinates Systems. Wabern, Suiza: Geodesy Federal Office of Topography swisstopo.
- Takasu, T., Kubo, N., & Yasuda, A. (22 de noviembre de 2007). Development, Evaluation and Application of RTKLIB: A program library for RTK-GPS. Tokyo, Japon: GPS/GNSS Symposium 2007.
- Tarrio M, J. A. (2017). *Asesoría en Cartografía y Geodesia Aplicada a SIG*. Santiago: Universidad de Santiago de Chile.
- Torge, W. (1991). *Geodesy*. New York: Walter de Gruyter.

- Vargas G, G. (2013). Comparação de métodos de transformação de coordenadas geodesicas para o plano topografico local utilizando os softwares Transgeolocal, TopoEVN, Posçiao e o aplicativo de ransformação plana. Santa Maria, Rio Do Sul, Brasil: Universidade Federal de Santa Maria.
- Vdovin, V. (2012). *Global Geocentric Coordinate of the Russian Federation*.
- Werner, G. (28 de noviembre de 2007). RINEX The Receiver Independent Exchange Format V 3.00. University of Bern.

APÉNDICE

Apéndice 1. Informe de Procesamiento de Datos con SOKKIA Spectrum Survey Office V8.3

Informe de Postproceso SOKKIA Spectrum Survey Office



Project

Project name: COORDENADAS DEFINITIVAS UCV.ttp
Project folder: C:\Users\Informatica\Documents\Spectrum Survey Office Jobs
Creation time: 23/07/2018 05:35:03 p.m.
Created by:
Comment:
Linear unit: Meters
Angular unit: DMS
Projection:
Datum: WGS84
Geoid:
Time Zone: GMT Standard Time

Adjustment

Control Tie Analysis: success
Adjustment type: Plane + Height, Constraint
Confidence level: 95 %
Number of adjusted points: 4
Number of plane control points: 2
Number of used GPS vectors: 6
A posteriori plane or 3D UWE: 0,9876078 , Bounds: (0,5220153 , 1,480287)
Number of height control points: 2
A posteriori height UWE: 0,2487144 , Bounds: (0,3478505 , 1,668832)

GPS Observations					
Name	dN (m)	dE (m)	dHt (m)	Horz RMS (m)	Vert RMS (m)
BIO-CRCS	1164,002	-2927,366	55,316	0,001	0,002
BIO-ESTRUC	-306,981	177,953	-6,905	0,001	0,001

GPS Observations					
Name	dN (m)	dE (m)	dHt (m)	Horz RMS (m)	Vert RMS (m)
BIO-G-2	-116,224	-350,882	-11,109	0,001	0,001
CRCS-ESTRUC	-1470,708	3105,413	-63,914	0,002	0,003
CRCS-G-2	-1279,996	2576,558	-67,841	0,001	0,002
ESTRUC-G-2	190,760	-528,834	-4,228	0,001	0,001

GPS Occupations	
Point Name	Original Name
CRCS	CRCS
G-2	G-2
BIO	BIO
ESTRUC	ESTRUC

Loop Closures							
Loop	dHz (m)	dU (m)	Horz Tolerance (m)	Vert Tolerance (m)	dHz (ppm)	dU (ppm)	Length (m)
BIO-CRCS(20/06/2018 02:51:51 p.m.) BIO-ESTRUC(20/06/2018 02:51:51 p.m.) CRCS-ESTRUC(20/06/2018 02:13:15 p.m.)	0,0028	0,0022	1,0694	3,0694	0,4	0,32	6942,3435
BIO-G-2(20/06/2018 02:51:51 p.m.) BIO-ESTRUC(20/06/2018 02:51:51 p.m.) ESTRUC-G-2(20/06/2018 02:13:15 p.m.)	0,0007	0,0001	1,0129	3,0129	0,57	0,09	1286,8972
CRCS-G-2(20/06/2018 01:37:10 p.m.) CRCS-ESTRUC(20/06/2018 02:13:15 p.m.)	0,002	0,0011	1,0688	3,0688	0,3	0,17	6876,6508

Loop Closures							
Loop	dHz (m)	dU (m)	Horz Tolerance (m)	Vert Tolerance (m)	dHz (ppm)	dU (ppm)	Length (m)
ESTRUC-G-2(20/06/2018 02:13:15 p.m.)							
CRCS-G-2(20/06/2018 01:37:10 p.m.) BIO-CRCS(20/06/2018 02:51:51 p.m.) BIO-G-2	0,0045	0,0012	1,064	3,064	0,7	0,19	6398,3636

Point Summary				
Name	Latitude	Longitude	Ell.Height (m)	Code
BIO	10°29'31,23731"N	66°53'12,40027"W	856,933	
CRCS	10°30'09,11197"N	66°54'48,65783"W	913,027	
ESTRUC	10°29'21,24749"N	66°53'06,54902"W	850,038	
G-2	10°29'27,45507"N	66°53'23,93771"W	845,835	

Apéndice 2. Cálculo de Coordenadas Red de Caracas.

Vértice	Este (m)	Norte (m)	Cota (m)	Este (m)	Norte (m)	Cota (m)	ΔE (m)	ΔN (m)	ΔC (m)
AGUACATE	-5528,07	-2106,383	1317,45	- 5528,401	-2106,480	1314,91 9	0,331	0,097	2,531
BANDERA	-6866,78	-2213,03	1522,27	- 6867,415	-2213,258	1518,41 1	0,635	0,228	3,859
BASE EL VALLE EXT. NORTE	2195,28	-5880,064	888,98	2195,174	-5880,001	886,094	0,106	-0,063	2,886
BASE EL VALLE EXT. SUR	1203,355	-7472,623	910,46	1203,287	-7472,555	906,253	0,068	-0,068	4,207
BASE LA CARLOTA EXT. ESTE	11151,73 9	-2362,979	834,14	11151,45 2	-2362,931	823,870	0,287	-0,048	10,270
BASE LA CARLOTA EXT. OESTE	8961,142	-1874,027	851,23	8960,951	-1874,023	844,599	0,191	-0,004	6,631
CAGIGAL	728,95	-8,529	1042,98	728,972	-8,535	1042,93 8	-0,022	0,006	0,042
CAMPO SANTO	1488,279	-3032,2	947,82	1488,253	-3032,208	947,085	0,026	0,008	0,735
CARICUAO	- 6169,753	-8768,014	1278,65	- 6170,059	-8768,442	1270,20 0	0,306	0,428	8,450
CARPINTERO	15980,56 9	-3963,758	1127,23	15980,92 7	-3963,852	1105,63 4	-0,358	0,094	21,596
CASTILLITOS	1174,195	2656,554	1313,35	1174,270	2656,680	1312,48 0	-0,075	-0,126	0,870
CEMENTERIO	1184,926	-4167,069	1235,51	1184,922	-4167,274	1234,25 1	0,004	0,205	1,259
CENTRO PROFESIONAL DEL ESTE	6168,827	-1264,698	907,49	6168,725	-1264,694	904,350	0,102	-0,004	3,140
COCHE	297,803	-4791,241	1243,57	297,765	-4791,487	1242,01 2	0,038	0,246	1,558
COLINAS DE COCHE	62,551	-6563,857	1072,42	62,481	-6563,999	1069,34 3	0,070	0,142	3,077
COLORADOS - 2	7607,146	1363	1029,93	7607,185	1363,007	1025,07 4	-0,039	-0,007	4,856

Vértice	Este (m)	Norte (m)	Cota (m)	Este (m)	Norte (m)	Cota (m)	ΔE (m)	ΔN (m)	ΔC (m)
COPEY	1848,099	- 10395,842	1283,24	1848,131	- 10396,162	1274,81 9	-0,032	0,320	8,421
CUMBRES	- 3197,646	3434,689	1095,31	- 3197,736	3434,764	1093,28 9	0,090	-0,075	2,021
ESCUELA	2917,08	-4797,249	899,22	2916,957	-4797,220	896,930	0,123	-0,029	2,290
INDIA	12335,38 4	-11097,75	1145,41	12335,69 2	- 11098,066	1123,62 7	-0,308	0,316	21,783
ITAGUA	- 3777,601	-5520,151	1436,93	- 3777,903	-5520,587	1433,80 7	0,302	0,436	3,123
JULIA	13506,25	128,124	1137	13506,57 0	128,127	1122,47 2	-0,320	-0,003	14,528
LAGUNITA	13009,24 5	-8001,53	1382,97	13010,04 8	-8002,063	1364,47 6	-0,803	0,533	18,494
LOMA QUINTANA	0,0000	0,0000	1077,6	0,000	0,000	1077,60 0	0,000	0,000	0,000
LOS CORDONES	2158,777	-3926,692	1133,54	2158,786	-3926,843	1132,17 0	-0,009	0,151	1,370
MAPURITE	16205,89 6	-1918,952	1078,15	16206,11 3	-1918,981	1056,92 3	-0,217	0,029	21,227
MARIPEREZ	5958,606	1535,667	1278,09	5958,853	1535,725	1274,93 7	-0,247	-0,058	3,153
MINAS	8098,98	-5595,137	1071,54	8099,081	-5595,212	1063,94 3	-0,101	0,075	7,597
OLIMPO	4935,424	72,64	958,63	4935,393	72,632	956,664	0,031	0,008	1,966
PABELLON-2	16164,26 9	-6287,41	1094,29	16164,52 4	-6287,519	1070,34 3	-0,255	0,109	23,947
PAIS	1813,095	786,084	977,62	1813,109	786,069	977,271	-0,014	0,015	0,349
PARQUE FLORIDA	7004,81	-285,592	931,94	7004,743	-285,600	928,003	0,067	0,008	3,937
PASAGUACA	2456,588	-7571,778	1117,69	2456,578	-7571,901	1112,98 9	0,010	0,123	4,701
PIEDRA AZUL	4831,564	-9219,793	1436,73	4831,858	-9220,457	1428,44	-0,294	0,664	8,282

Vértice	Este (m)	Norte (m)	Cota (m)	Este (m)	Norte (m)	Cota (m)	ΔE (m)	ΔN (m)	ΔC (m)
						8			

Error Promedio:

Error Promedio E (m)	Error Promedio N (m)	Error Promedio Cota
-0,009	0,111	6,563

Desviación Estándar:

σ Este (m)	σ Norte (m)	σ Plano (m)	σ Cota (m)
0,254	0,219	0,335	9,699

Apéndice 3. Informe de Ajuste JAG 3D.

Java Graticule 3D (JAG3D): v3.6.20180125

Name of Project: Proyecto JAG3D

Description: OpenAdjustment via JAG3D (GNU-GPL)

Project operator: Informatica

Date of Calculation: 25.07.2018 - 15:09:44

Kind of network: free Network (tY, tX, tZ)

Adjustment Type: Least squares adjustment (L2Norm)

Probability Value α [%]: 0.1

Test Power (1- β) [%]: 80.0

Average Redundancy $rm = 1-u/(n+d)$: 0.837

Linearisation proof $|\hat{f}-f(\hat{u})|_{max}$: 0.0E0

First Principal Component $\lambda_{21}/\text{trace}(C_{xx})$: 0.248

Java Graticule 3D - Report

free Geodetic Network Adjustment & Deformations-Analysis Software

Project

B-Method (Baarda)

Test statistics $\Phi-1$ w.r.t. the degree of freedom r and q , respectively

r	q	α [%]	(1 - β) [%]	λ (α,β)	log(pr,q)	$\Phi-1 (Fr,q,1-\alpha)$
3.000	∞	0.55	80.00	17.075	-5.20	4.21
3.000	105	0.78	80.00	17.075	-4.85	4.17
13.757	∞	6.48	80.00	17.075	-2.74	1.63
94.243	∞	38.43	80.00	17.075	-0.96	1.04
108.00	∞	40.98	80.00	17.075	-0.89	1.03

Variance Component Estimation

Variance Component Estimation

Group name	nG	rG	ΩG	1 : σ_{2G}	$\Phi-1 (Fr,\infty,1-\alpha)$	TG $\leq \Phi-1$ H0
Total Adjustment	126	108.000	21.14	0.20	1.03	✓
GNSS Baseline 3D	126	108.000	21.14	0.20	1.03	✓
GNSS Baseline 3D σ_a	126	94.243	21.06	0.22	1.04	✓
GNSS Baseline 3D σ_c	126	13.757	0.08	0.01	1.63	✓

17/6/2019 Proyecto JAG3D - JAG3D

Datum Points: PUNTO DATUM

Point Group: PUNTO DATUM

Point-Id	Code	East Y0 [m]	North X0 [m]	Height Z0 [m]	East Y [m]	North X [m]	Height Z [m]	σY [mm]	σ [mm]
BIO	0	5332.3130	- 1279.1590	874.4914	5332.3065	- 1279.2338	874.4864	2.3	1
ESTRUC	0	5510.2530	- 1586.2900	867.5865	5510.2595	- 1586.2152	867.5914	2.3	1

New Points: PUNTOS NUEVOS

Point Group: PUNTOS NUEVOS

Point-Id	Code	East Y0 [m]	North X0 [m]	Height Z0 [m]	East Y [m]	North X [m]	Height Z [m]	σY [mm]	σX [mm]
F1	0	4930.1961	- 1483.9993	863.8089	4930.1964	- 1484.0030	863.8355	3.8	3.
F2	0	4961.2974	- 1388.6587	863.4373	4961.2965	- 1388.6619	863.4615	3.8	3.
F3	0	4992.1843	- 1400.0382	863.3625	4992.1835	- 1400.0410	863.3845	3.8	3.
F4	0	4964.8452	- 1494.6322	863.2164	4964.8455	- 1494.6354	863.2405	3.8	3.
G2	0	4981.4240	- 1395.4564	863.3661	4981.4232	- 1395.4594	863.3889	3.8	3.

GNSS Baseline 3D: VECTORES

Station-Id	Target-Id	$\delta Y0$ [m]	$\delta X0$ [m]	$\delta Z0$ [m]	$\sigma Y0$ [mm]	$\sigma X0$ [mm]	$\sigma Z0$ [mm]	δY [m]	δX [m]
BIO	F1	- 402.1109	- 204.7667	- 10.6669	28.4	22.5	20.0	- 402.1101	- 204.7692
BIO	F2	- 371.0098	- 109.4260	- 11.0367	27.3	20.7	20.0	- 371.0100	- 109.4282
BIO	F3	- 340.1229	- 120.8054	- 11.1121	26.3	20.9	20.0	- 340.1230	- 120.8073

Station-Id	Target-Id	δY_0 [m]	δX_0 [m]	δZ_0 [m]	σY_0 [mm]	σX_0 [mm]	σZ_0 [mm]	δY [m]	δX [m]
BIO	F4	- 367.461 8	- 215.399 5	- 11.260 2	27.2	22.7	20.0	- 367.461 0	- 215.401 6
BIO	G2	- 350.883 2	- 116.223 7	- 11.108 3	26.6	20.8	20.0	- 350.883 3	- 116.225 6
BIO	ESTRU C	- 177.952 7	- 306.981 0	- 6.9049	21.9	25.2	20.0	- 177.953 0	- 306.981 5
ESTRU C	F1	- 580.062 9	102.217 0	- 3.7831	35.2	20.6	20.0	- 580.063 1	102.212 2
ESTRU C	F2	- 548.961 4	197.557 6	- 4.1566	34.0	22.3	20.0	- 548.963 0	197.553 3
ESTRU C	F3	- 518.074 6	186.178 0	- 4.2307	32.7	22.1	20.0	- 518.076 0	186.174 2
ESTRU C	F4	- 545.413 9	91.5841	- 4.3749	33.8	20.5	20.0	- 545.413 9	91.5798
ESTRU C	G2	- 528.834 8	190.759 8	- 4.2274	33.2	22.2	20.0	- 528.836 3	190.755 8
ESTRU C	BIO	- 177.951 3	306.982 2	6.8851	21.9	25.2	20.0	- 177.953 0	306.981 5

Proyecto JAG3D - JAG3D
Observation Group: VECTORES

Station-Id	Target-Id	δY_0 [m]	δX_0 [m]	δZ_0 [m]	σY_0 [mm]	σX_0 [mm]	σZ_0 [mm]	δY [m]	δX [m]
F1	F2	31.0999	95.3411	- 0.3748	20.1	20.6	20.0	31.1001	95.3411
F1	F3	61.9869	83.9620	- 0.4519	20.2	20.4	20.0	61.9871	83.9620
F1	F4	34.6492	- 10.6324	- 0.5951	20.1	20.0	20.0	34.6491	- 10.6324
F1	G2	51.2266	88.5436	- 0.4475	20.2	20.5	20.0	51.2267	88.5436
F1	BIO	402.109 1	204.771 8	10.634 9	28.4	22.5	20.0	402.110 1	204.769 2
F1	ESTRU C	580.065 0	- 102.207	3.7287	35.2	20.6	20.0	580.063 1	- 102.212

Station-Id	Target-Id	$\delta Y0$ [m]	$\delta X0$ [m]	$\delta Z0$ [m]	$\sigma Y0$ [mm]	$\sigma X0$ [mm]	$\sigma Z0$ [mm]	δY [m]	δX [m]
			3						2
F2	F1	- 31.1000	- 95.3410	0.3732	20.1	20.6	20.0	- 31.1001	- 95.3411
F2	F3	30.8870	- 11.3791	- 0.0771	20.1	20.0	20.0	30.8870	- 11.3791
F2	F4	3.5492	- 105.973	- 0.2219	20.0	20.7	20.0	3.5490	- 105.973 4
F2	G2	20.1267	-6.7974	- 0.0727	20.0	20.0	20.0	20.1267	-6.7974
F2	BIO	371.009 3	109.430 2	11.013 2	27.3	20.7	20.0	371.010 0	109.428 2
F2	ESTRUC	548.964 9	- 197.549 0	4.1032	34.0	22.3	20.0	548.963 0	- 197.553 3
F3	F1	- 61.9871	- 83.9619	0.4501	20.2	20.4	20.0	- 61.9871	- 83.9620
F3	F2	- 30.8870	11.3791	0.0769	20.1	20.0	20.0	- 30.8870	11.3791
F3	F4	- 27.3379	- 94.5943	- 0.1448	20.0	20.6	20.0	- 27.3380	- 94.5943
F3	G2	- 10.7603	4.5817	0.0043	20.0	20.0	20.0	- 10.7603	4.5817
F3	BIO	340.122 3	120.809 0	11.091 7	26.3	20.9	20.0	340.123 0	120.807 3
F3	ESTRUC	518.077 7	- 186.170 3	4.1832	32.7	22.1	20.0	518.076 0	- 186.174 2
F4	F1	- 34.6491	10.6324	0.5949	20.1	20.0	20.0	- 34.6491	10.6324
F4	F2	-3.5491	105.973 4	0.2201	20.0	20.7	20.0	-3.5490	105.973 4
F4	F3	27.3379	94.5943	0.1432	20.0	20.6	20.0	27.3380	94.5943
F4	G2	16.5775	99.1760	0.1476	20.0	20.6	20.0	16.5776	99.1760
F4	BIO	367.460 1	215.403 8	11.231 7	27.2	22.7	20.0	367.461 0	215.401 6
F4	ESTRUC	545.415 7	- 91.5755	4.3270	33.8	20.5	20.0	545.413 9	- 91.5798
G2	F1	- 51.2267	- 88.5436	0.4458	20.2	20.5	20.0	- 51.2267	- 88.5436

Station-Id	Target-Id	δY_0 [m]	δX_0 [m]	δZ_0 [m]	σY_0 [mm]	σX_0 [mm]	σZ_0 [mm]	δY[m]	δX[m]
G2	F2	- 20.1267	6.7975	0.0726	20.0	20.0	20.0	- 20.1267	6.7974
G2	F3	10.7603	-4.5817	- 0.0044	20.0	20.0	20.0	10.7603	-4.5817
G2	F4	- 16.5776	- 99.1760	- 0.1492	20.0	20.6	20.0	- 16.5776	- 99.1760
G2	BIO	350.882 6	116.227 5	11.086 8	26.6	20.8	20.0	350.883 3	116.225 6
G2	ESTRUC	528.838 1	- 190.751 8	4.1778	33.2	22.2	20.0	528.836 3	- 190.755 8

Apéndice 4. Informe Combinación Columbus 3.8

COLUMBUS 3D Geodetic Network Adjustment Software

COLUMBUS: Demo - Ver 3.8.1.31

Report File: C:\Users\Ruy Pereira\Desktop\COORDENADAS GEOCENTRICAS
COMBINACION RTKLIB.txtProject: C:\Users\Ruy
Pereira\Desktop\COMBINACION SOLUCIONES RTKLIB.txt

DATE: 05/15/2019 TIME: 18:37:25

WGS 84 Major = 6378137.0000 1/f = 298.25722356

Linear Units: Meters

Angular Units: Degrees

Adjusted XYZ Coordinates

Station	X	SD	Y	SD	Z	SD
CRCS	2459721.84573	0.05879	-5770508.86144	0.08659	1155112.19688	0.03164

1 - 1D Fixed 2 - 2D Fixed 3 - 3D Fixed

Report File: C:\Users\Ruy Pereira\Desktop\COORDENADAS GEODESICAS
COMBINACION RTKLIB.txt

Project: C:\Users\Ruy Pereira\Desktop\COMBINACION SOLUCIONES RTKLIB.txt

DATE: 05/15/2019 TIME: 18:37:46

WGS 84 Major = 6378137.0000 1/f = 298.25722356

Linear Units: Meters

Angular Units: Degrees

Adjusted Coordinates

Station	Latitude	SD	Longitude	SD	Ellip Hgt	SD
CRCS N 10-30-09.11249	0.0270	W 66-54-48.65803	0.0459	913.03695	0.0955	

1 - 1D Fixed 2 - 2D Fixed 3 - 3D Fixed