

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA

“JUAN MISAEL SARACHO”

FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**“ANÁLISIS DE MODELOS MATEMÁTICOS
PARA EL POSICIONAMIENTO APLICANDO EL
GPS PARA PROYECTOS VIALES”**

VÍCTOR RODNY LEDEZMA CUÉLLAR

PROYECTO ELABORADO EN LA ASIGNATURA CIV 502

DICIEMBRE DE 2010

TARIJA – BOLIVIA

ÍNDICE

	Pag.
1. <u>INTRODUCCIÓN.-</u>	1
1.1 Antecedentes.....	2
1.2 Justificación.....	2
1.3 Objetivos.....	3
1.3.1 Objetivo General.....	3
1.3.2 Objetivos Específicos.....	3
1.4 Alcance.....	4
2. <u>CAPÍTULO 1.- CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES DEL GPS</u>	6
2.1 Generalidades.....	7
2.1.1 Definición de Geodesia.....	7
2.1.2 División de la Geodesia.....	8
2.1.3 Sistemas de Referencia – Enfoque General.....	10
2.1.3.1 Sistemas de Referencia.....	11
2.1.4 Topografía.....	13
2.1.5 Elipsoide.....	14
2.1.5.1 Coordenadas Geodésicas.....	15
2.1.5.2 Coordenadas Rectangulares.....	16
2.1.5.3 Datum.....	17
2.1.6 Geoide.....	17
2.1.6.1 Altura Elipsoidal.....	18
2.1.6.2 Altura Geoidal.....	19
2.1.7 El GPS.....	22
2.1.8 Otros Sistemas Actuales en Geodesia Espacial.....	23
2.1.9 Interferometría de larga base (Very Long Baseline Interferometry -VLBI).....	24
2.1.10 Satélite Laser Ranging (SLR).....	26
2.2 Principios del GPS.....	28
2.2.1 Constitución del Sistema GPS.....	29
2.2.1.1 El segmento espacial.....	30
2.2.1.1.1 Puesta en Órbita.....	33
2.2.1.1.2 Relojes u Osciladores.....	33
2.2.1.1.3 Identificación del Satélite.....	34
2.2.1.1.4 Tiempo GPS.....	35
2.2.1.1.5 Señales Transmitidas.....	36
2.2.1.1.6 Disponibilidad.....	37
2.2.1.2 El Segmento de Control.....	37
2.2.1.2.1 Efemérides Precisas.....	40
2.2.1.3 El Segmento de Usuario.....	41

2.2.1.3.1 Antena y Circuito de Antena.....	41
2.2.1.3.2 Sección de Radiofrecuencia RF.....	42
2.2.1.3.3 Microprocesador.....	43
2.2.1.3.4 Oscilador.....	43
2.2.1.3.5 Fuente de Alimentación.....	44
2.2.1.3.6 Dispositivo de Control.....	44
2.2.1.3.7 Dispositivo de Almacenamiento.....	44
2.2.1.4 Interfaz de Usuario.....	44
2.2.1.4.1 Memoria.....	45
2.2.1.4.2 Dispositivo de Puesta en Estación.....	46
2.2.1.4.3 Dispositivo de Transmisión.....	46
2.3 Usos del GPS.....	46
2.3.1 Geodesia.....	46
2.3.1.1 Ejemplo: determinación directa del geoide con GPS.....	47
2.3.2 Geodinámica.....	48
2.3.2.1 Ejemplo: Uso de GPS para control de movimientos en Plataformas petrolíferas en alta mar.....	49
2.3.2.2 Ejemplo: Southern California Integrated GPS Network (SCIGN).....	49
2.3.2.3 Ejemplo: COSMOS y Grapes (Japón).....	51
2.3.3 Topografía, Cartografía y SIG.....	51
2.3.3.1 Ejemplo: Aplicación del GPS en la fotogrametría.....	51
2.4 Utilización del GPS en obras de Ingeniería.....	53
2.4.1 Ejemplo: Aplicación del GPS al comportamiento de estructuras.....	53
2.4.2 Ejemplo: Guiado de maquinaria de obra civil con GPS cinemático en tiempo real.....	57
3. <u>CAPÍTULO 2.- MODELOS MATEMÁTICOS PARA EL</u>	
 <u>POSICIONAMIENTO</u>	60
3.1 Principios de un Modelo Matemático.....	61
3.1.1 Clasificaciones de los Modelos.....	61
3.1.2 Fases de Construcción de un Modelo.....	64
3.2 Parámetros que definen un Modelo Matemático.....	65
3.2.1 Modelos matemáticos y solución de problemas en ingeniería.....	65
3.2.1.1 Un Modelo Matemático Simple.....	66
3.2.1.2 Características típicas de los modelos matemáticos.....	66
3.2.1.3 Métodos Numéricos.....	67
3.2.1.4 Solución Analítica o Exacta.....	67
3.2.2 Exactitud y Precisión.....	67
3.2.3 Definiciones de Error.....	67
3.2.3.1 Tipos de Errores.....	68

3.2.3.2 Estimación de Error con Métodos Iterativos.....	68
3.3 Procesamiento de datos en un Modelo Matemático.....	69
3.3.1 El Método del Redondeo de Ambigüedades al Entero más próximo.....	70
3.3.1.1 Modelo Lineal para Posicionamiento Relativo según las Dobles Diferencias.....	71
3.3.1.2 Procedimiento de Ajuste.....	74
3.3.1.3 Redondeo al Entero.....	75
3.4 Aplicación.....	76
3.4.1 El Método LAMBDA.....	76
3.4.1.1 Introducción.....	76
3.4.2 Modelo Matemático Empleado.....	77
3.4.3 La Solución Real.....	78
3.4.4 Resolución Condicionada.....	79
3.4.4.1 El Volumen Hiperelipsoidal.....	81
3.4.4.2 Ejemplo de Ajuste Secuencial.....	83
3.4.5 Solución Fijada.....	84
3.5 Validación de un Modelo Matemático.....	85
3.5.1 Ejemplo de Cálculo.....	86
3.5.1.1 Cálculo de las posiciones de los satélites.....	87
3.5.1.2 Cálculo de las pseudodistancias corregidas.....	90
3.5.1.3 Formación de la matriz de diseño y solución del sistema....	91
4. <u>CAPÍTULO 3.- ANÁLISIS DE MODELOS MATEMÁTICOS PARA EL POSICIONAMIENTO APLICANDO EL GPS PARA PROYECTOS VIALES</u>	93
4.1 Identificación y procedencia de los Modelos Matemáticos a analizar.....	94
4.1.1 Posicionamiento Absoluto con Código.....	95
4.1.2 Posicionamiento Absoluto con Fase de la Portadora.....	97
4.1.3 Posicionamiento Absoluto con Medidas DOPPLER.....	98
4.1.4 Posicionamiento relativo.....	99
4.1.5 Resumen del Posicionamiento.....	100
4.1.6 Ecuaciones e Incógnitas en los Modelos Matemáticos.....	100
4.1.6.1 Ecuaciones e Incógnitas.....	101
4.2 Comparación de los Modelos Matemáticos elegidos.....	106
4.2.1 Comparación de ambos Métodos.....	106
4.2.1.1 Introducción: Datos de la Observación.....	106
4.2.1.2 Datos de partida para el Cálculo.....	107
4.2.1.2.1 Ficheros RINEX de Observaciones.....	107
4.2.1.2.2 Fichero de efemérides precisas en formato SP3....	110
4.2.1.2.3 Consideraciones Previas.....	113

4.2.1.3	Establecimiento del sistema de ecuaciones de partida.....	114
4.2.1.4	Aplicación del Método LAMBDA y Redondeo al Entero....	117
4.3	Elección del Modelo Matemático a utilizar.....	119
5.	<u>CAPÍTULO 4.- APLICACIÓN PRÁCTICA</u>	122
5.1	Ubicación de la zona para la aplicación.....	123
5.2	Características del proyecto vial para la aplicación.....	124
5.2.1	Equipo utilizado.....	125
5.2.2	Referenciación Geodésica.....	126
5.2.3	Transformación de Sistemas.....	127
5.2.4	Método de Mensura para los Pares Geodésicos.....	127
5.2.5	Precisiones.....	128
5.2.6	Ajustes y Proceso.....	130
5.3	Procesamiento de datos con el Modelo Matemático elegido.....	131
5.3.1	Levantamiento de puntos en la Zona “El Dorado”, Provincia Gran Chaco, Departamento de Tarija: Datos Crudos.....	132
5.3.1.1	RINEX de Navegación.....	132
5.3.1.2	RINEX de Observación.....	138
5.3.1.3	Datos Procesados (Ajustados).....	144
5.4	Resultados obtenidos.....	152
5.4.1	Resumen de Datos Procesados.....	153
6.	<u>CAPÍTULO 5.-</u>	160
6.1	CONCLUSIONES.....	161
6.2	RECOMENDACIONES.....	163
7.	<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	164
8.	<u>ANEXOS</u>	166
8.1	INFORME FOTOGRÁFICO.....	167
8.2	MONOGRAFÍA DE TRAMOS EN CARRETERA Serranita Tapecua – Zapaterambia.....	170