



**ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO**

**CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y  
DEL MEDIO AMBIENTE**

**PROYECTO DE GRADO PARA LA OBTENCIÓN DEL  
TÍTULO DE INGENIERA GEÓGRAFA Y DEL MEDIO  
AMBIENTE**

**“Transformación entre el Sistema PSAD56 y los  
Marcos de Referencia ITRF utilizando los modelos de  
Helmert y de velocidades de placas tectónicas VEMOS”**

**Realizado por:**

**ANDREA GALUDHT SANTACRUZ JARAMILLO**

**Sangolquí – Ecuador**

**Junio – 2010**

## **CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente Proyecto de Grado titulado “Transformación entre el Sistema PSAD56 y los Marcos de Referencia ITRF utilizando los modelos de Helmert y de velocidades de placas tectónicas VEMOS”, fue realizada en su totalidad por la Señora Andrea Galudht Santacruz Jaramillo, como requerimiento previo a la obtención del título de Ingeniera Geógrafa y del Medio Ambiente.

Sangolquí, 21 de Junio de 2010.

---

**Dr. Alfonso Tierra C.**

**DIRECTOR**

---

**Ing. Rolando Reyes Ch.**

**CODIRECTOR**

## **DEDICATORIA**

Dedico todo mi esfuerzo y sacrificio a toda mi familia y todas las personas que creyeron en mi y que demuestran día a día todo su cariño y amor a mi David Alejandro.

A mis padres, Galudht y Alvaro, que con su amor y apoyo me dieron la fuerza que necesitaba para perseguir mis sueños, alcanzarlos y cumplirlos, por formarme con valores y principios que han sido fundamentales en el transcurso de mi vida, en mi educación, en mi faceta como madre, y ahora en la culminación de mi carrera. Prometo no defraudarlos, y cada meta que cumpla en el transcurso de mi vida, se las dedicaré a ustedes, porque sin ustedes no hubiera llegado donde estoy.

A mi Mami, por ser mi ejemplo a seguir, por ser una mujer luchadora, fuerte y vencedora a pesar de las dificultades que se le presenten.

A mi Papi, por creer y esperar algo más de mi, por apoyarme en todas las decisiones que tomo viendo siempre lo mejor.

Dedico esta tesis especialmente a esa persona que estuvo junto a mi en los momentos mas difíciles y encantadores de mi vida, a esa persona que con su amor sin límites supo darme las fuerzas y la energía que tanto necesitaba cuando me sentía derrotada, a esa persona que esperaba paciente que yo terminara todas mi tareas diarias, que se desvelaba a mi lado sin importar su cansancio, que no le interesaba sacrificar su tiempo por pasar un tiempo conmigo, a él que siempre me preguntaba como me había ido en mi día, aquel que me brindaba todo lo que tenía y mucho más sin importar nada a cambio, a él que le debo este gran logro, a mi amado hijo David Alejandro, gracias por hacerme tan feliz. Espero tener una larga vida para poder compensar todo lo que has hecho por mi y para darte todo lo mejor como madre y como amiga.

A todas las personas que se sacrifican a diario para alcanzar sus sueños, en especial a esa mujer que luchan cada día para cumplir el rol de madre, esposa, hija, hermana, nieta y profesional, y tiene que atravesar muchos obstáculos en su largo camino por recorrer, pero siempre recuerda que a veces las cosas más difíciles tienen mejores recompensas.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios por lo que me ha dado y por amarme tanto que ya me ha rodeado de personas maravillosas que con cada acción que hacen me demuestran su cariño y amor.

A mis Padres por demostrarme todo su amor mediante su preocupación, paciencia y ayuda incondicional para mi y para mi hijo. Son unos padres maravillosos y los amo con todo mi corazón.

A mi hermana Belén, por ser mi mejor amiga, por estar siempre pendiente de mi, por todo el cariño que me brinda, por escucharme y aconsejarme cuando lo necesito, por toda la ayuda que me da y por tratar de que a no nos falta nada. Toda la vida no basta para agradecer todo lo que has hecho por mi.

A mi hermana Carla, por ayudarme siempre que lo necesito, por preocuparse por mi hijo y por mi.

A mi hermano Carlos Andrés, por ser como un hermanito para mi David Alejo, por tenerle mucha paciencia y cariño.

A mis Abuelitos, Laura y Carlos, que han sido como mis segundos padres, por ser tan amorosos con mi hijo y conmigo, por preocuparse tanto y por ser un apoyo incondicional.

A mis Tíos, Marianita, Mireya, Sandrita, Mirtha, Ramiro, Santiago, Jorge y Hernán, por quererlo tanto a mi David Alejandro y a mi, por darme consejos que me han ayudado a mejorar mi vida y alcanzar mis sueños.

A todos mi primos de parte de ambas familias, por demostrarme su preocupación y cariño. A mi primo Ramiro especialmente por alegrarme y endulzarme la vida en los momentos más amargos que he tenido.

A David, por todos los buenos y malos momentos compartidos y por el regalo más hermoso que Dios nos ha podido dar, David Alejandro.

A toda la familia de David, en especial al Señor Deneff, a la Señora Patricia, a la Señora Verónica, al señor Julio y su hermana Anita, por tendernos siempre la mano, por ayudarme a cumplir este sueño y por amarlo tanto a mi hijo. Un agradecimiento especial, a Ricardo por ser una excelente persona, por creer en mi y en mis sueños, por estar siempre pendiente de nosotros y por la enorme ayuda que me ha brindado, realmente no tengo palabras para agradecerte.

A mi Director de Tesis, Doctor Alfonso Tierra, por darme la oportunidad de realizar la tesis con usted, por brindarme todo el conocimiento necesario tanto para la culminación de mi tesis como para mi vida profesional. Usted es un gran ejemplo de persona y profesional y le agradezco por sembrar en mi la semilla del conocimiento y de la investigación.

A mi Codirector, Ing. Rolando Reyes, por la ayuda prestada en la culminación del proyecto de tesis.

A mi “mai frien” amada, Angélica, por ser una excelente amiga en las buenas y malas, por brindarme su mano y levantarme cuando he estado derrotada, por confiar tanto en mi, por dame una amistad que perdurará siempre y por recordarme que después de la tempestad viene la calma.

A mis “Perringos” amados, Byron, Jorge, Rosy, Lore y Ange, por ser mis mejores amigos y estar conmigo siempre, por amarme como una hermana, por ayudarme sin condiciones cada vez que tengo una dificultad y sobre todo por formar parte de mi vida, ustedes me hacen muy feliz, los amo mucho.

A mis nuevos y viejos amigos, Richy, Fabio, Micky, Carlitos, Janisse, Karen, Mariela, Beto, Sebas, Claudia, Diana, Alex, José Luis, y muchos más, por brindarme su amistad y cariño en este corto o largo tiempo que nos conocemos. En especial a Andrés, por preocuparse por mi, por darme su ayuda y apoyo siempre que lo necesito.

A la Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente y a sus profesores que me dieron su conocimiento durante estos 5 años de formación profesional. En especial al Ing. Alex Robayo y al Ing. Panchito León, por ser grandes profesores y grandes amigos, por su preocupación y ayuda constante y por confiar en mí.

Al Centro de Investigaciones Espaciales y al Instituto Geográfico Militar, por auspiciar mi proyecto de grado tanto en la parte material como de conocimientos.

A los responsables del Geoportal IDEESPE, en especial al Ing. Villa, por permitir el ingreso de los programas desarrollados en esta tesis y por tener la paciencia suficiente para ayudarme cada vez que lo necesitaba.

Al Ing. César Leiva, por toda la ayuda y colaboración voluntaria brindada en el transcurso de la tesis.

Al Ing. Yujra y a David Montenegro, por enseñarme las herramientas necesarias e imprescindibles para la culminación de la tesis.

## RESUMEN

Existen Sistemas de Referencia que tienen el origen desplazado del centro de masas de la Tierra (Geocentro) y están referidos a datums locales para buscar el mejor acoplamiento del elipsoide de referencia a una zona de interés determinada. Por otra parte, los Sistemas de Referencia Geocéntricos, son los que tienen su origen en el Geocentro y están asociados a elipsoides globales o modernos. Debido a la necesidad de que los antiguos datums locales sean coincidentes con los datums modernos, se han calculado nuevos parámetros de transformación con el fin de que se obtenga cartografía con coordenadas más precisas que se puedan enlazar a un mismo sistema de referencia global.

De igual manera, existen parámetros de transformación entre Sistemas de Referencia Geocéntricos, los cuales se conforman por tres traslaciones, tres rotaciones y un factor de escala, y sus variaciones en el tiempo. Dichos Sistemas se encuentran materializados en la superficie terrestre con coordenadas y velocidades perfectamente determinadas en un sistema de coordenadas dado, llamados ITRFs (International Terrestrial Reference Frames), los cuales sirven para el cálculo de coordenadas con mayor exactitud.

La falta de automatización mediante programación, la cual permita la transformación entre sistemas para compatibilizar la Geoinformación generada en PSAD56 y en SIRGAS95 tomando en cuenta ITRFs y épocas de referencia, dio la factibilidad al presente proyecto. Se realizaron tres programas amigables para el usuario, con el fin de optimizar tiempo en el momento de realizar transformaciones entre Sistemas de Referencia.



## **SUMMARY**

There are Reference Systems with the origin displaced from the center of the mass of the Earth (geocentric) and they are referred to local datums to find the best coupling reference ellipsoid to a particular area of interest. Moreover, the Geocentric Reference Systems are those that have their origin in the geocentric and are associated with global or modern ellipsoids. Due to the need for the old local datums are consistent with the moderns, new transformation parameters have been estimated to obtain more precise coordinates that can be connected to the same global reference system.

Similarly, there are parameters for transformation between Geocentric Reference Systems, which are made up of three translations, three rotations and one scale factor, and its variations over time. These systems are embodied in the earth's surface with coordinates and velocities perfectly defined in a given coordinate system, called ITRFs (International Terrestrial Reference Frames), which serve to calculate coordinates more accurately.

The lack of automation through programming, which allows the transformation between systems to make compatible the Geoinformation generated in PSAD56 and SIRGAS95 taking into account ITRFs and reference epoch, did the feasibility for this project. Three user friendly programs were conducted, in order to optimize time in the transformations between Reference Systems.

## PRÓLOGO

Actualmente existen nuevas técnicas de medición como los sistemas satelitales de navegación global (GPS, GLONASS y en un futuro cercano GALILEO), los cuales permiten realizar trabajos geodésicos con mayor calidad, debido a que con estos se obtienen coordenadas más precisas.

Es indispensable para la utilización de estas técnicas de medición la existencia de Sistemas de Referencia, para que las coordenadas que se obtengan estén referidas a un solo Sistema Mundial, y por lo tanto, a un solo Marco de Referencia Terrestre.

En el Ecuador se utilizan dos Sistemas de Referencia, el PSAD56 que es un Sistema de Referencia Local, WGS84 y el SIRGAS95, que son Sistemas de Referencia Geocéntricos. Para enlazar las coordenadas entre estos dos sistemas se calculó 7 parámetros de transformación. Con esto se obtienen coordenadas en SIRGAS 95 (ITRF94), con lo cual, nuestro país se puede enlazar a la Red SIRGAS que contiene a países de América y el Caribe.

La Red SIRGAS se está actualizando constantemente, y por esta razón se han realizado nuevas campañas como SIRGAS2000 (ITRF00), y actualmente SIRGAS – CON que trabaja con GNSS basado en el Marco de Referencia IGS05.

De igual manera, existen parámetros de transformación entre ITRFs que permitan enlazar las observaciones a un mismo Marco y época de referencia para compatibilizar la cartografía existente.

Debido a la notable importancia de realizar este tipo de transformaciones, se pensó la manera de automatizar todos estos cálculos y procesos, para que cualquier usuario que necesite utilizar coordenadas transformadas no le resulte un problema realizar este tipo de transformaciones, y principalmente, para que no trabaje con datos que le puedan causar dificultades posteriores en su trabajo.

El objetivo principal del presente proyecto es la automatización de las transformaciones entre Sistemas de Referencia, el cual se cumplió mediante la elaboración de 3 programas. El primero que es de uso exclusivo del Instituto Geográfico Militar el cual realiza transformación entre ITRFs y épocas de referencia tomando en cuenta el modelo de velocidades VEMOS09. Los otros dos programas que se realizaron se encuentran disponibles para cualquier usuario que requiera realizar transformaciones entre PSAD56 y SIRGAS95, entre ITRFs y épocas de referencia tomando en cuenta las velocidades de los puntos.

# ÍNDICE DE CONTENIDO

<b>CAPÍTULO 1 ASPECTOS GENERALES</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1 ANTECEDENTES</b> .....	<b>1</b>
<b>1.2 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	<b>2</b>
<b>1.3 JUSTIFICACIÓN</b> .....	<b>3</b>
<b>1.4 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO</b> .....	<b>4</b>
1.4.1 Ubicación Geográfica.....	4
1.4.2 ÁREA DE INFLUENCIA.....	5
<b>1.5 OBJETIVOS</b> .....	<b>6</b>
1.5.1 Objetivo General.....	6
1.5.2 Objetivos Específicos.....	6
<b>1.6 METAS DEL PROYECTO</b> .....	<b>6</b>
<b>CAPÍTULO 2 FUNDAMENTO TEÓRICO</b> .....	<b>7</b>
<b>2.1. SISTEMAS DE REFERENCIA CLÁSICO</b> .....	<b>7</b>
2.1.1 Provisional South American Datum 1956 - PSAD56.....	7
<b>2.2 SISTEMAS DE REFERENCIA GEOCÉNTRICO</b> .....	<b>8</b>
2.2.1 <i>International Terrestrial Referente System</i> - ITRS (Sistema Terrestre Internacional de Referencia).....	8
2.2.2. <i>International Terrestrial Reference Frame</i> - ITRF (Marco Terrestre Internacional de Referencia).....	9
2.2.3 World Geodetic System 1984 - WGS84.....	18
<b>2.3 TRANSFORMACIÓN ENTRE ÉPOCAS Y SISTEMAS</b> .....	<b>19</b>
2.3.1 Transformación entre Épocas de Referencia.....	19
2.3.2 Modelo de Helmert.....	20
2.3.3 Método de Mínimos Cuadrados (MMC).....	27
<b>2.4 PLACAS TECTÓNICAS</b> .....	<b>31</b>
2.4.1 Movimiento de Placas Tectónicas en el Ecuador.....	32
<b>2.5 MODELO DE VELOCIDADES PARA AMÉRICA DEL SUR Y EL CARIBE (VEMOS2009)</b> .....	<b>32</b>
<b>2.6 TIPO DE ALTURAS</b> .....	<b>34</b>
2.6.1 Alturas de Tipo Geométrico.....	34
<b>2.7 CONVERSIÓN DE COORDENADAS ENTRE SISTEMAS DE REFERENCIA</b> .....	<b>38</b>
2.7.1 Conversión de Coordenadas Geodésicas a Coordenadas Cartesianas.....	38
2.7.2 Conversión de Coordenadas Cartesianas a Coordenadas Geodésicas.....	39
<b>2.8 MODELOS GEOPOTENCIALES</b> .....	<b>40</b>
2.8.1 Earth Gravitational Model 1996 - EGM96.....	42
2.8.2 Earth Gravitational Model 2008 - EGM08.....	43
<b>CAPÍTULO 3 ANÁLISIS Y RESULTADOS</b> .....	<b>45</b>
<b>3.1 SIETE PARÁMETROS DE TRANSFORMACIÓN ENTRE SISTEMAS PSAD56 Y SIRGAS95</b> .....	<b>45</b>
<b>3.2 CÁLCULO DE LOS NUEVOS PARÁMETROS DE TRANSFORMACIÓN ENTRE PSAD56 Y SIRGAS95</b> .....	<b>49</b>
3.2.1 Prueba Chi Cuadrado $X^2$ .....	50

<b>3.3 VALIDACIÓN DE LOS NUEVOS PARÁMETROS DE TRANSFORMACIÓN ENTRE PSAD56 Y SIRGAS95 .....</b>	<b>52</b>
3.3.1 Pruebas Estadísticas .....	52
3.4.1 Resultados.....	58
<b><i>CAPÍTULO 4 AUTOMATIZACIÓN DE LA TRANSFORMACIÓN DE SISTEMAS</i></b>	
<b><i>DE REFERENCIA.....</i></b>	<b>60</b>
<b>4.1 LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN.....</b>	<b>60</b>
4.1.1 Visual Basic 6.0 .....	60
<b>4.2 PROGRAMAS REALIZADOS.....</b>	<b>61</b>
4.2.1 Programa de Transformación de Coordenadas entre PSAD56 y SIRGAS95 .....	61
4.2.2 Programa de Transformación de Coordenadas con ITRFs y Épocas de Referencia utilizando 7 parámetros de transformación .....	62
4.2.3 Programa de Transformación de Coordenadas con ITRFs y Épocas de Referencia utilizando 7 y 14 parámetros de transformación.....	63
<b><i>CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</i></b>	<b>65</b>
<b>5.1 CONCLUSIONES .....</b>	<b>65</b>
<b>5.2 RECOMENDACIONES.....</b>	<b>66</b>
<b><i>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</i></b>	<b>67</b>

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b><i>ANEXO A</i></b> .....	<b>71</b>
<b><i>OPCIONES DE TRANSFORMACIONES ENTRE ITRFS CON 14 PARÁMETROS.</i></b> 71	
<b>A.1. Ejemplo de Transformación del IGS05 al ITRF94.</b> .....	<b>71</b>
<b>A.2. Ejemplo de Transformación del ITRF94 al IGS05.</b> .....	<b>72</b>
<b><i>ANEXO B</i></b> .....	<b>73</b>
<b><i>MANUALES DE USUARIO</i></b> .....	<b>73</b>
<b>B.1. Programa: Transformación de Coordenadas entre PSAD56 y SIRGAS95.</b> .....	<b>73</b>
<b>B.2. Programa: Transformación de Coordenadas con ITRF`s y Épocas de Referencia         utilizando 7 parámetros de transformación.</b> .....	<b>85</b>
<b>B.3. Programa: Transformación de Coordenadas con ITRFs y Épocas de Referencia         utilizando 7 y 14 parámetros de transformación.</b> .....	<b>101</b>
<b><i>ANEXO C</i></b> .....	<b>119</b>
<b><i>CÓDIGO FUENTE DE LOS PROGRAMAS</i></b> .....	<b>119</b>
<b>C.1. Código del Programa: Transformación de Coordenadas entre PSAD56 y         SIRGAS95.</b> .....	<b>119</b>
<b>C.2. Programa: Transformación de Coordenadas con ITRF`s y Épocas de Referencia         utilizando 7 parámetros de transformación.</b> .....	<b>132</b>
<b>C.3. Programa: Transformación de Coordenadas con ITRFs y Épocas de Referencia         utilizando 7 y 14 parámetros de transformación.</b> .....	<b>148</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla. 2.1. Parámetros Elipsoidales de Hayford.....	8
Tabla. 2.2. Parámetros de Transformación desde ITRF2000 a Sistemas anteriores.....	12
Tabla. 2.3. Parámetros de transformación del ITRF2005 al ITRF2000. ....	13
Tabla. 2.4. Parámetros de transformación del IGS05 al ITRF2005.....	14
Tabla. 2.5. Parámetros Elipsoidales del GRS80.....	15
Tabla. 2.6. Parámetros Elipsoidales del WGS84.....	19
Tabla. 3.1. Siete parámetros de Transformación del Sistema PSAD56 al Sistema SIRGAS95.....	45
Tabla. 3.2. Puntos para el Cálculo de los nuevos Parámetros entre PSAD56 y SIRGAS 95, (coordenadas aproximadas). ....	46
Tabla. 3.3. Puntos de Control para la Evaluación de los nuevos Parámetros entre PSAD56 y SIRGAS95, (coordenadas aproximadas). ....	48
Tabla. 3.4. Varianza a posteriori de los nuevos parámetros. ....	50
Tabla. 3.5. Diferencias entre las coordenadas cartesianas calculadas en base a h determinada con $\eta$ del EGM96 con los parámetros oficiales y las coordenadas observadas en SIRGAS95. ....	52
Tabla. 3.6. Diferencias entre las coordenadas cartesianas calculadas en base a h determinada con $\eta$ del EGM08 con los parámetros oficiales y las coordenadas observadas en SIRGAS95. ....	53
Tabla. 3.7. Diferencias entre las coordenadas cartesianas calculadas con los nuevos parámetros en base a las alturas elipsoidales determinadas con las ondulaciones geoidales del EGM96 y las coordenadas observadas en SIRGAS95.....	53
Tabla. 3.8. Diferencias entre las coordenadas cartesianas calculadas con los nuevos parámetros en base a las alturas elipsoidales determinadas con las ondulaciones geoidales del EGM08 y las coordenadas observadas en SIRGAS95.....	54
Tabla. 3.9. Resultados de las diferencias obtenidas en las coordenadas cartesianas calculadas con los nuevos parámetros. ....	55
Tabla. 3.10. Siete nuevos parámetros de Transformación del Sistema PSAD56 al Sistema SIRGAS95. ....	56
Tabla. 3.11. Coordenadas geodésicas en SIRGAS95.....	56
Tabla. 3.12. Coordenadas cartesianas en SIRGAS95.....	58
Tabla. 3.13. Coordenadas cartesianas en SIRGAS2000.....	58
Tabla. 3.14. Diferencias entre coordenadas en SIRGAS2000.....	59

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura. 1.1. Ubicación de los puntos en el sistema PSAD56.....	5
Figura. 2.1. Sistemas de Referencias Geocéntrico y Clásico.....	8
Figura. 2.2. Ubicación de las estaciones SIRGAS95.....	16
Figura. 2.3. Ubicación de las estaciones SIRGAS2000.....	17
Figura. 2.4. Ubicación de las estaciones SIRGAS-CON.....	18
Figura. 2.5. Relación entre Sistemas de Referencia SIRGAS95 y PSAD56.....	20
Figura. 2.6. Matrices de rotación antihoraria para vectores y para marcos.....	21
Figura. 2.7. Transformación entre ITRFs.....	23
Figura. 2.8. Placas Tectónicas.....	32
Figura. 2.9. Modelo VEMOS2009.....	33
Figura. 2.10. Alturas Niveladas.....	35
Figura. 2.11. Altura Elipsoidal.....	35
Figura. 2.12. Alturas Ortométricas.....	36
Figura. 2.13. Relación entre el Geoide, el Elipsoide y la Superficie Topográfica.....	37
Figura. 2.14. Coordenadas Geodésicas en el elipsoide.....	38
Figura. 2.15. Coordenadas Geodésicas en el elipsoide.....	39
Figura. 2.16. Modelo Geopotencial EGM96.....	43
Figura. 2.17. Modelo Geopotencial EGM08.....	44
Figura. 3.1. Ubicación Geográfica en el sistema PSAD56 de los puntos para el Cálculo de los nuevos Parámetros entre PSAD56 y SIRGAS 95.....	48
Figura. 3.2. Ubicación Geográfica en el sistema PSAD56 de los Puntos de Control para la Evaluación de los nuevos Parámetros entre PSAD56 y SIRGAS 95.....	49
Figura. 3.3. Proceso del cálculo y evaluación de los nuevos parámetros de transformación entre PSAD56 y SIRGAS95.....	51
Figura. 3.4. Cálculo de velocidades con VELINTER.....	57
Figura. 3.5. Archivo generado con las velocidades calculadas con VELINTER.....	57
Figura. 3.6. Cálculo de velocidades con VMS09.....	57
Figura. 3.7. Archivo generado con las velocidades calculadas con VMS09.....	57
Figura. 4.1 Programa de Transformación de Coordenadas entre PSAD56 y SIRGAS95.....	62
Figura. 4.2 Programa de Transformación de Coordenadas con ITRFs y Épocas de Referencia utilizando 7 parámetros.....	63
Figura. 4.3 Programa de Transformación de Coordenadas con ITRFs y Épocas de Referencia utilizando 7 y 14 parámetros.....	64



## GLOSARIO

**Datum:** Se define como el punto tangente al elipsoide y al geoide, donde ambos son coincidentes.

**Elipsoide:** Es el resultado de revolucionar una elipse sobre uno de sus ejes de simetría.

**Exactitud:** Cualidad o característica de un dato de ajustarse perfectamente al dato real.

**Geocentro:** Centro de masas de la Tierra.

**Geodinámica:** Es una rama de la Geología, que trata de los agentes o fuerzas que intervienen en los procesos dinámicos de la Tierra.

**Geoinformación:** Es el procesamiento y análisis de toda aquella información que tiene un contexto geográfico.

**Geoportal:** Es un sitio web cuya finalidad es ofrecer a los usuarios el acceso a una serie de recursos y servicios basados en la información geográfica.

**Media aritmética:** También llamada promedio o simplemente media, es un conjunto finito de números que es igual a la suma de todos sus valores dividida entre el número de sumandos.

**Modelo matemático:** Es uno de los tipos de modelos científicos, que emplea algún tipo de formulismo matemático para expresar relaciones, proposiciones sustantivas de hechos, variables, parámetros, entidades y relaciones entre variables y/o entidades u operaciones, para estudiar comportamientos de sistemas complejos ante situaciones difíciles de observar en la realidad.

**NNRNUVEL-1A:** Es un modelo internacional estándar del Marco de Referencia Terrestre Internacional (ITRF) que describe las velocidades de los puntos en la superficie terrestre debido al movimiento de las placas tectónicas.

**Lenguaje de Programación:** Es aquel elemento dentro de la informática que nos permite crear programas mediante un conjunto de instrucciones, operadores y reglas.

**Litósfera:** Es la capa más superficial de la Tierra sólida, caracterizada por su rigidez.

**Precisión:** Se refiere a la dispersión del conjunto de valores obtenidos de mediciones repetidas de una magnitud. Cuanto menor es la dispersión mayor la precisión.

**Placa tectónica:** Es un fragmento de litósfera que se mueve como un bloque rígido sin presentar deformación interna sobre la astenósfera (zona del manto terrestre que está inmediatamente debajo de la litosfera) de la Tierra.

**Sistema de Referencia:** Define constantes, convenciones, modelos y parámetros, que sirven como base necesaria para la representación matemática de cantidades geométricas y físicas.

**VELINTER:** Programa del Modelo de Velocidades VEMOS.

**VMS09:** Programa del Modelo de Velocidades VEMOS2009.

## ACRÓNIMOS Y SIGLAS

<b>BEK</b>	Bayerische Kommission für die Internationale Erdmessung.
<b>BIH</b>	Bureau International de l'Heure.
<b>CASA</b>	Central and South American GPS Geodynamics Project.
<b>CEINCI</b>	Centro de Investigaciones Científicas.
<b>CIE</b>	Centro de Investigaciones Espaciales.
<b>DGFI</b>	Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut.
<b>DORIS</b>	Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite.
<b>EGM96</b>	Earth Geopotential Model 1996.
<b>EGM08</b>	Earth Geopotential Model 2008.
<b>EOP</b>	Earth Orientation Parameters.
<b>GLONASS</b>	Russia's Global Navigation Satellite System.
<b>GNSS</b>	Global Navigation Satellite System.
<b>GPS</b>	Global Positioning System.
<b>GRS80</b>	Geodetic Reference System 1980.
<b>IAG</b>	International Association of Geodesy.
<b>IAU</b>	International Astronomical Union.
<b>IBGE</b>	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.
<b>ICRS</b>	International Celestial Reference System.
<b>IDEESPE</b>	Infraestructura de Datos Espaciales de la Escuela Politécnica del Ejército.
<b>IERS</b>	International Earth Rotation and Reference Systems Service.
<b>IGM</b>	Instituto Geográfico Militar.
<b>IGS</b>	Internacional GNSS Service.
<b>ILRS</b>	International Laser Ranging Service.
<b>ITRF</b>	International Terrestrial Reference Frame.
<b>ITRS</b>	International Terrestrial Referente System.
<b>IUGG</b>	International Union of Geodesy and Geophysics.
<b>IVS</b>	International VLBI Service.
<b>LLR</b>	Lunar Laser Ranging.
<b>MATLAB</b>	Matrix Laboratory.
<b>MMC</b>	Método de Mínimos Cuadrados.
<b>MVC</b>	Matriz Varianza Covarianza.

<b>NASA</b>	National Aeronautics and Space Administration.
<b>NGA</b>	National Geospatial-Intelligence Agency.
<b>NIMA</b>	National Imagery and Mapping Agency.
<b>REGME</b>	Red GNSS de Monitoreo Continuo del Ecuador.
<b>PSAD56</b>	Provisional South American Datum 1956.
<b>SIRGAS</b>	Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas.
<b>SLR</b>	Satellite Laser Ranging.
<b>TCG</b>	Tiempo Coordinado Geocéntrico.
<b>VEMOS</b>	Velocity Model for SIRGAS.
<b>VLBI</b>	Very Long Baseline Interferometry.
<b>WGS84</b>	World Geodetic System 1984.

# CAPÍTULO 1

## ASPECTOS GENERALES

### 1.1 ANTECEDENTES

Los sistemas geodésicos de referencia son necesarios para referir las observaciones geodésicas y estimar los parámetros a una base global única. Para realizar monitoreos de los procesos físicos del cambio global y de la geodinámica, es necesario contar con una serie de puntos que hayan sido posicionados con alta precisión y exactitud en base a Marcos de Referencia que tengan un datum estable a largo plazo.

El *International Earth Rotation and Reference System Service* - IERS tiene como objetivo principal proporcionar un Marco estándar de Referencia mundial *International Terrestrial Reference Frame* - ITRF que alcance la mayor exactitud posible en la definición del datum en términos de su origen, la escala y la evolución temporal de su orientación.

Los ITRFs fueron calculados por diversos centros de análisis utilizando observaciones espaciales o sus combinaciones realizadas por el IERS. Cada técnica geodésica espacial proporciona su correspondiente conjunto de datos cuyo análisis da lugar a la realización de un Marco de Referencia. La exactitud del ITRF depende de la calidad y la consistencia interna de las soluciones que contribuyan a su elaboración y definición.

La Red Geodésica del Ecuador se encuentra enlazado al *Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas* – SIRGAS, el cual se basa en el ITRF94, época de referencia 1995.4 y a la antigua Red Clásica, cuyo *Sistema de Referencia es el Provisional South American Datum 1956* - PSAD56.

La *National Imagery and Mapping Agency* - NIMA, actualmente la *National Geospatial-Intelligence Agency* - NGA entregó al *Instituto Geográfico Militar* - IGM unos parámetros de transformación entre los sistemas PSAD56 y el *World Geodetic System 1984* - WGS84 para el Ecuador, que los calculó mediante 11 puntos distribuidos en el Ecuador Continental

y determinó solamente traslaciones en los ejes (X, Y, Z), que son suficientes para objetivo de transformación de la Cartografía Nacional hasta escala 1:50.000.(Leiva, 2003). Se comprobó que estos parámetros tienen errores de varios metros en algunas zonas, por lo cual el IGM, en calidad de entidad reguladora de la cartografía en el país, investigó el cálculo de nuevos parámetros de transformación entre estos dos sistemas.

Leiva (2003), realizó el cálculo de los parámetros oficiales de transformación para el Ecuador con el modelo matemático de Helmert, entre el Sistema de Referencia PSAD56 utilizado en la Cartografía Nacional y WGS84 utilizado para la red GPS<sup>1</sup>, tomando 42 puntos comunes entre ambos sistemas. Además comprobó la compatibilidad entre los sistemas *International Terrestrial Reference System* - ITRS y WGS84, con coordenadas WGS84 del proyecto *Central And South American GPS Geodynamics Project* - CASA 1994 y coordenadas de la red GPS del Ecuador que está referida a SIRGAS (SIRGAS95, ITRF94, época de referencia 1995.4). Estas diferencias resultaron mínimas, en el orden de  $\pm 2\text{cm}$  en la coordenada X,  $\pm 3\text{cm}$  en la coordenada Y y  $\pm 1\text{cm}$  en la coordenada Z, con lo cual concluyó que para fines prácticos, estos sistemas geocéntricos se pueden considerar iguales, WGS 84=SIRGAS95.

## 1.2 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

El Instituto Geográfico Militar, como organismo rector de la cartografía en el Ecuador, se ha propuesto el objetivo de establecer y mantener un Marco Geodésico de Referencia moderno y compatible con las técnicas de medición disponibles en la actualidad, como los sistemas satelitales de navegación global (GPS, GLONASS y en un futuro cercano GALILEO).

Con este objetivo, el IGM con el apoyo de instituciones públicas y privadas del país ha establecido la REGME, que actualmente esta conformada por 8 estaciones: QUI1, RIOP, GLPS, PTEC, GYEC, CUEC, LJEC, ESMR, distribuidas a lo largo del territorio nacional (Geoportal IGM, 2010).

---

<sup>1</sup> Global Positioning System, se basa en la medición de pseudo distancias desde satélites al receptor a través del tiempo. Una trilateración inversa en el espacio, conociendo las coordenadas de al menos 3 satélites, permitirá obtener coordenadas en tierra.

La falta de automatización mediante programación, la cual permita la transformación entre sistemas para compatibilizar la Geoinformación generada en PSAD56 y en SIRGAS tomando en cuenta ITRFs y épocas de referencia, dio la factibilidad al presente proyecto.

Para el efecto, se realizó el nuevo cálculo de los 7 parámetros de transformación entre PSAD56 y SIRGAS95 con fines investigativos junto con el CEINCI-CIE, para conocer si existe una variación con los parámetros oficiales.

Además, conociendo la necesidad de obtener coordenadas más precisas para realizar trabajos geodésicos y para automatizar procesos, se realizaron tres programas. El primero que es de uso del Instituto Geográfico Militar el cual realiza transformación entre ITRFs y épocas de referencia tomando en cuenta el modelo de velocidades VEMOS09. Los otros dos programas que se realizaron se encuentran disponibles en el *Geoportal IDEESPE* (Infraestructura De Datos Espaciales de la Escuela Politécnica Del Ejército) cuya dirección es <http://ideespe.espe.edu.ec/>, los cuales podrán ser utilizados por usuarios que requieran transformar puntos entre PSAD56 y SIRGAS95, entre ITRFs y épocas de referencia tomando en cuenta las velocidades de los puntos.

### 1.3 JUSTIFICACIÓN

Es de fundamental importancia la transformación entre Sistemas de Referencia ya que permiten enlazar las observaciones actuales a diferentes épocas de referencia, con esto se da la compatibilidad entre la cartografía existente en el país con los trabajos realizados con posicionamiento satelital que han utilizado puntos de la red GPS del Ecuador. De esta manera se tendrá un solo sistema en el país, que estará enlazado a una Red Mundial con un solo Sistema de Referencia.

Por esta razón es necesario la precisión, realización y mantenimiento del ITRF, ya que sirve para realizar diferentes estudios locales y globales referentes a la Tierra, debido a que este es la materialización del *Sistema Terrestre Internacional de Referencia* – ITRS que es el Sistema de Referencia Mundial.

Debido a las deformaciones de la corteza terrestre por el constante movimiento de las placas tectónicas a través del tiempo, existen variaciones en las coordenadas y en los

Marcos de Referencia. Para obtener buenos resultados en trabajos que requieran precisión y exactitud es necesario que se transforme las coordenadas del IGS05<sup>2</sup> que está enlazado al ITRF vigente, el ITRF05, con la época en la que se rastreó dichas coordenadas, al ITRF94 con época de referencia 1995.4, que es el Marco al cual se refiere la *Red GNSS de Monitoreo Continuo del Ecuador - REGME*<sup>3</sup> del Ecuador a través de los parámetros de transformación entre ITRFs.

El IGM tuvo la necesidad de contar con un programa que automatice el proceso de transformación entre ITRFs y épocas de referencia, de esta manera se puede trabajar con coordenadas de acuerdo a la necesidad del usuario y con una mayor precisión ya que se toma en cuenta el modelo de velocidades *Velocity Model for SIRGAS - VEMOS* de SIRGAS, (Drewes y Heidbach 2005) ;(Drewes y Heidbach 2009).

De igual manera, el *Centro de Investigaciones Científicas – CEINCI*, con el apoyo técnico del *Centro de Investigaciones Espaciales - CIE*, buscó la automatización de las transformaciones entre los Sistemas PSAD56 y SIRGAS95, tomando en cuenta los parámetros de transformación oficiales calculados por Leiva (2003) y nuevos parámetros de transformación a partir de 84 puntos adquiridos gracias a la colaboración de las entidades auspiciantes. Además se disponibilizará al usuario la transformación entre la época de rastreo con GPS hacia SIRGAS95 y viceversa.

## 1.4 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

### 1.4.1 Ubicación Geográfica

El presente proyecto fue realizado en el Ecuador Continental, tomando en cuenta 84 puntos distribuidos en el territorio nacional, dentro del polígono, como se muestra en la figura 1.1, de los cuales 68 sirvieron para el cálculo en sí de los nuevos parámetros de transformación, y los 16 puntos restantes fueron utilizados como puntos de control para evaluar los nuevos parámetros.

---

<sup>2</sup> *Internacional GNSS Service – IGS*, véase el concepto en el CAPÍTULO 2, Sección 2.2.2 *International Terrestrial Reference Frame - ITRF* (Marco Terrestre Internacional de Referencia), Soluciones de ITRFs, IGS05.

<sup>3</sup> El Instituto Geográfico Militar con el apoyo de instituciones públicas y privadas del país ha establecido la REGME que es un conjunto de estaciones GNSS (GPS+GLONASS) de monitoreo continuo, enlazadas a la Red Nacional GPS del Ecuador – RENAGE y a la Red Continental SIRGAS-CON.



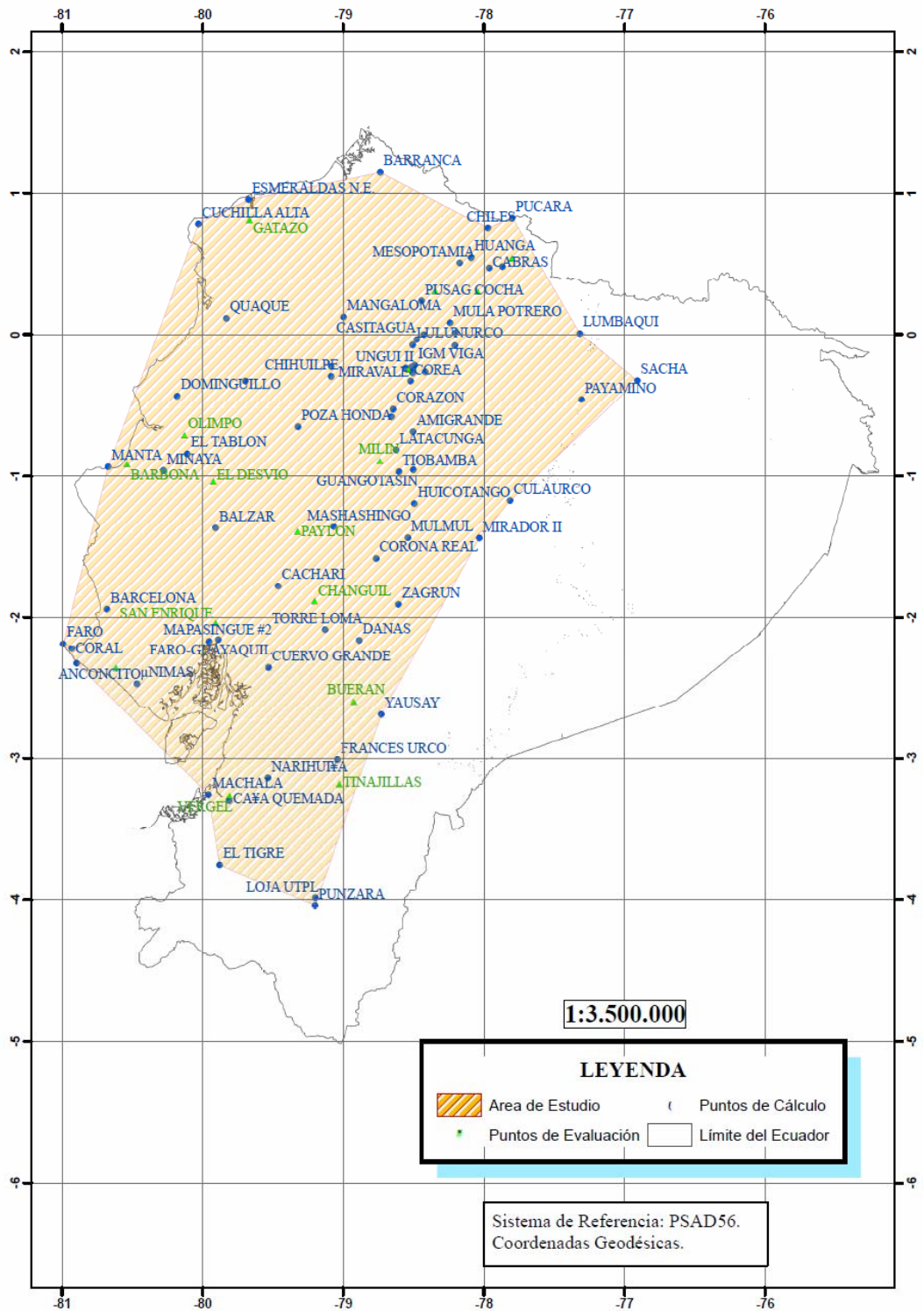


Figura. 1.1. Ubicación de los puntos en el sistema PSAD56.

### 1.4.2 ÁREA DE INFLUENCIA

El proyecto tiene una influencia a nivel Nacional.

## **1.5 OBJETIVOS**

### **1.5.1 Objetivo General**

Realizar la transformación de coordenadas entre Sistema PSAD56 y el Sistema de Referencia SIRGAS95, además de la transformaciones entre ITRF94, ITRF96, ITRF2000, ITRF2005 e IGS05, con los modelos de Helmert y de velocidades de placas tectónicas VEMOS.

### **1.5.2 Objetivos Específicos**

- Automatizar la transformación entre los Sistemas de Referencia.
- Calcular los parámetros de transformación entre PSAD56 y SIRGAS95 (ITRF94), tomando en cuenta nuevos puntos que se han posicionado dentro de la Red Clásica y de la Red GPS del Ecuador.
- Aplicar el modelo de velocidades de placas tectónicas VEMOS.

## **1.6 METAS DEL PROYECTO**

- Elaborar un programa que permita la transformación entre PSAD56 y SIRGAS95.
- Elaborar un programa que permita la transformación entre ITRFs.
- Elaborar un programa que permita la transformación entre coordenadas SIRGAS95 y coordenadas actuales rastreadas con GPS.
- Transformar las coordenadas geodésicas a coordenadas cartesianas de 84 puntos que han sido determinados mediante el Elipsoide de Hayford, usando los Modelos Geopotenciales EGM96 y EGM08.
- Calcular los 7 parámetros de transformación entre PSAD56 y SIRGAS95 (ITRF94) a partir de 84 puntos en común.
- Utilizar el programa VMS09 para la transformación de épocas de referencia que se requiere en los programas de transformación de coordenadas.

## CAPÍTULO 2

### FUNDAMENTO TEÓRICO

#### SISTEMAS DE REFERENCIA

Un *Sistema de Referencia* es una estructura geométrica para referir las coordenadas de puntos en el espacio. Queda definido por la ubicación del origen, las direcciones de los ejes, la escala, los algoritmos necesarios para sus transformaciones espaciales y temporales y las constantes utilizadas en las definiciones y correcciones del mismo, (Curso Avanzado de Sistemas de Posicionamiento por Satélite, 2006).

Según Drewes (2009), el *Sistema de Referencia* define constantes, convenciones, modelos y parámetros, que sirven como base necesaria para la representación matemática de cantidades geométricas y físicas.

#### 2.1. SISTEMAS DE REFERENCIA CLÁSICO

Si el origen de coordenadas del sistema está desplazado del Geocentro, se conoce como Sistema de Referencia Local, los cuales están referidos a datums locales y buscan el mejor acoplamiento del elipsoide de referencia a la zona de interés.

##### 2.1.1 Provisional South American Datum 1956 - PSAD56

Es un Sistema que tiene como elipsoide de referencia el Internacional de Hayford y como punto origen La Canoa ubicado en la República de Venezuela. Los parámetros elipsoidales del PSAD56 se muestran en la tabla 2.1.

El elipsoide representa con mayor exactitud a la forma de la tierra ya que mediante este tiene una superficie de referencia de forma regular. Dicho elipsoide se obtiene haciendo girar una elipse meridiana en torno a su eje menor. Usualmente, un elipsoide biaxial es definido por el semieje mayor  $a$  y el achatamiento  $f$ .

**Tabla. 2.1. Parámetros Elipsoidales de Hayford.**

Elipsoide Internacional de Hayford		
$a$	Semieje mayor	6378388 m
$f$	Achatamiento	1/297

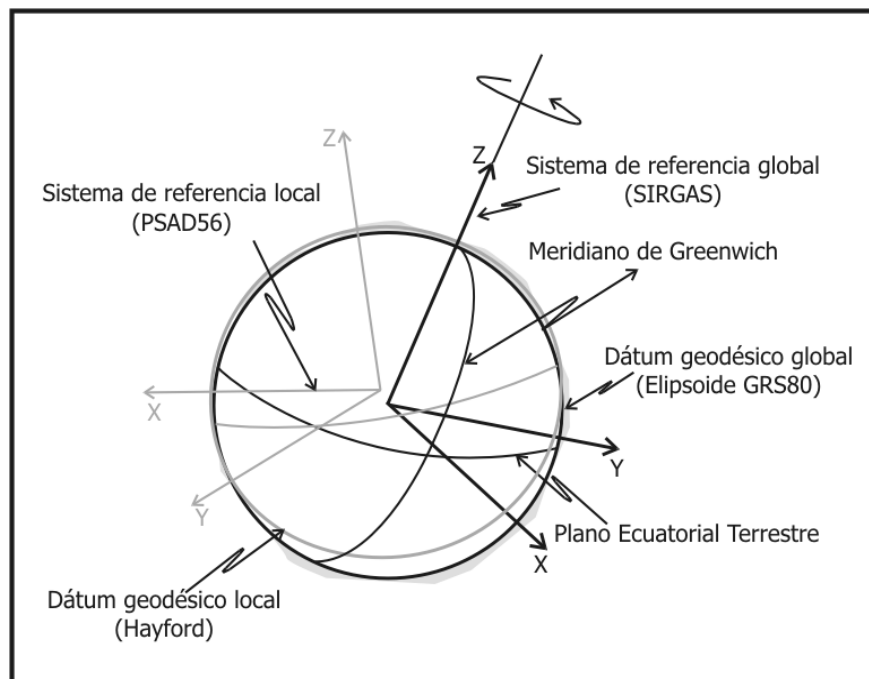
Siendo el achatamiento igual a:

$$f = \frac{a-b}{a} \quad (2.1)$$

Donde  $b$  es el semieje menor del elipsoide.

## 2.2 SISTEMAS DE REFERENCIA GEOCÉNTRICO

Estos Sistemas están referidos a datums geocéntricos, los cuales están asociados a elipsoides globales, que tienen su origen en el centro de la Tierra, figura 2.1.



**Figura. 2.1. Sistemas de Referencias Geocéntrico y Clásico.**

Fuente: Leiva, 2003.

### 2.2.1 *International Terrestrial Reference System - ITRS (Sistema Terrestre Internacional de Referencia)*

Es un sistema de referencia mundial espacial que co-gira con la Tierra en su movimiento diurno en el espacio. Es geocéntrico, el centro de masa se define para la Tierra entera, incluyendo los océanos y la atmósfera. La unidad de longitud es el metro,

esta escala coincide con el TCG<sup>4</sup>, tiempo coordinado para un marco geocéntrico local de acuerdo con las resoluciones de la *International Astronomical Union* - IAU y la *International Union of Geodesy and Geophysics* – IUGG (1991), (McCarthy y Petit, 2004); (ITRF, 2009).

El IERS fue establecido conjuntamente por la IAU y la IUGG en 1988. Tiene por misión proveer al mundo científico y a la comunidad técnica valores de referencia para los *Parámetros de Orientación de la Tierra* - EOP<sup>5</sup> que surgen al considerar el movimiento del polo y las variaciones de la velocidad de rotación de la Tierra. Para ello contribuyen técnicas espaciales geodésicas entre las que se incluye el GPS. Además El IERS supervisa la realización del ITRS, (ITRF, 2009); (IERS, 2009).

### **2.2.2. *International Terrestrial Reference Frame* - ITRF (Marco Terrestre Internacional de Referencia)**

Es un conjunto de puntos materializados en la superficie terrestre con coordenadas perfectamente determinadas en un sistema de coordenadas dado, cartesianas o geodésicas, conectado a un ITRS. Además está constituido por técnicas o medidas aplicadas en las observaciones y por los métodos de cálculo aplicados para la obtención de los parámetros.

Este Marco se refiere a una época determinada de observación ITRF<sub>yy</sub> donde yy indican el último año cuyos datos fueron usados en la formación del ITRF. Un ejemplo de esto es el ITRF97, el cual fue creado en 1999 con los datos disponibles hasta 1998.

El ITRF viene determinado por una combinación de coordenadas y velocidades de una red de estaciones en la superficie de la Tierra calculadas por diversos centros de análisis utilizando observaciones de técnicas geodésicas espaciales VLBI<sup>6</sup>, SLR<sup>7</sup>, LLR<sup>8</sup>; en 1991 se introduce el GPS y en 1994 datos DORIS<sup>9</sup>, o sus combinaciones realizadas por el IERS.

---

<sup>4</sup> Tiempo Coordinado Geocéntrico, es un patrón de coordenadas del tiempo destinado a ser utilizado como variable independiente del tiempo para todos los cálculos relacionados con la nutación, la Luna, los satélites artificiales de la Tierra, etc. Es equivalente a un reloj que realiza exactamente los mismos movimientos que la Tierra, pero está fuera de la gravedad de la misma, por ello no es influenciado por la dilatación del tiempo causada por la gravedad de la Tierra.

<sup>5</sup> Describen las irregularidades de la rotación de la Tierra. Técnicamente, son los parámetros que dan la rotación del ITRS con respecto al *International Celestial Reference System* (ICRS) como una función del tiempo.

<sup>6</sup> Very Long Baseline Interferometry, permite calcular, por medios interferométricos, la distancia entre los centros radioelétricos de dos o más radiotelescopios situados en la superficie terrestre, que observen un mismo cuásar.

<sup>7</sup> Satellite Laser Ranging, es un sistema de medida de distancia absoluta por láser a satélites, se basa en el tiempo de tránsito de un haz láser desde que es enviado por el emisor, reflejado en el satélite y recibido por el receptor o detector.

Cada técnica geodésica espacial proporciona su correspondiente conjunto de datos cuyo análisis da lugar a la realización de un marco de referencia. El ITRF final se obtiene por medio de una combinación de soluciones individuales realizada por el Centro de productos IERS. Para obtener coordenadas geodésicas debe utilizarse un elipsoide de referencia, el ITRF usa el elipsoide *Geodetic Reference System 1980 - GRS80*<sup>10</sup>, (Curso Avanzado de Sistemas de Posicionamiento por Satélite, 2006).

Las determinaciones del ITRF están afectadas por los siguientes factores (McCarthy y Petit, 2004);

- Relaciones entre el ICRS<sup>11</sup> y el ITRS tales como la velocidad de rotación de la Tierra.
- Las coordenadas a priori de las estaciones.
- El modelo de tectónica de placas utilizado para tener en cuenta las velocidades de las estaciones.
- El modelo neopotencial adoptado.
- La constante de gravitación y la masa de la Tierra.
- El valor de la velocidad de la luz.
- Las mareas terrestres y oceánicas.
- La presión de radiación solar.
- El estado y marcha de los relojes.
- Los efectos atmosféricos.
- Las variaciones de las antenas de los receptores, entre otros.

### Soluciones de ITRFs

La historia del ITRF comienza en 1984 con una solución llamada BTS84 realizada por el *Bureau International de l'Heure - BIH*<sup>12</sup> usando una combinación de observaciones

---

<sup>8</sup> Lunar Laser Ranging, es idéntica a la SLR con la excepción de que realiza las punterías en vez de a satélites, a unas cajas o grupos de prismas situados en la Luna, un total de 5 cajas se pusieron hacia 1973 por las misiones Apolo y Lunakhod.

<sup>9</sup> Doppler Orbitography and Radiopositionning Integrated by Satellite, se utiliza para determinar la órbita de satélites equipados con receptores de DORIS con precisión de centímetros con una red de estaciones terrestres como puntos de referencia en la Tierra. Además es posible que se enlace a puntos de Referencia Terrestre Internacional Frame (ITRF).

<sup>10</sup> Es un sistema geodésico de referencia que consiste de un elipsoide de referencia mundial y un modelo de campo de gravedad.

<sup>11</sup> *The International Celestial Reference System*, es un sistema de referencia cuyos ejes de coordenadas tienen su origen en el baricentro (centro de masas) del Sistema Solar, y cuya orientación está definida por las direcciones a un gran número de objetos muy lejanos. El ICRS fue adoptado por la *International Astronomical Union (IAU)* como sistema de referencia astronómico fundamental.

<sup>12</sup> La Oficina Internacional de Tiempo, ubicada en el Observatorio de París, fue la Oficina Internacional responsable de la combinación de diferentes mediciones de la hora universal. También desempeñó un papel importante en la investigación del mantenimiento del

VLBI, SLR, LLR y Doopler/TRANSIT, luego el BIH realizó otros tres BTS hasta el BTS87. En 1988 fue creado el IERS quien se encarga de las siguientes realizaciones del ITRF. Existen 11 versiones del ITRF publicadas por el IERS: ITRF88, 89, 90, 91, 92, 94, 96, 97, combinada 96+97, 2000 y 2005, (Curso Avanzado de Sistemas de Posicionamiento por Satélite, 2006). Las soluciones de ITRFs que se encuentran vinculadas al presente estudio se detallan a continuación (ITRF, 2009):

- **ITRF94**

El ITRF94 se obtuvo de la siguiente manera (ITRF94 Report, 2009):

- El origen se define por una media ponderada de algunas soluciones SLR y GPS.
- La escala definida por una media ponderada de soluciones VLBI, SLR y GPS, corregido en 0,7 ppb (partes por billón) para satisfacer la exigencia de la IUGG y la UAI, para que haya compatibilidad en hora- marco con el TCG, en lugar de TT<sup>13</sup> que utilizan los centros de análisis.
- La evolución del tiempo es consistente con el modelo geofísico NNRNUVEL-1A<sup>14</sup>
- La orientación es consistente con el ITRF92.

- **ITRF2000**

- La escala se la obtuvo por igualación a cero de la escala, por la razón de la escala de los parámetros entre ITRF2000 y la media ponderada del VLBI y por las soluciones SLR más consistentes (ITRF solution 2000, 2009).
- A diferencia de la escala del ITRF97 que se expresa en el marco del TCG, el de la ITRF2000 se expresa en el marco TT.
- El origen se lo obtuvo por igualación a cero de los componentes de las traslaciones y las variaciones de las traslaciones entre ITRF2000 y la media ponderada de las soluciones SLR más consistentes.
- La orientación se la definió asegurando sitios del ITRF con geodésica de alta calidad. Las rotaciones están en el ITRF97, en época de referencia 1997.0 y fue alineado convencionalmente al modelo NNRNUVEL-1A.

---

tiempo. En 1987 se hizo cargo del *International Bureau of Weights and Measures* – BIPM y del *International Earth Rotation and Reference Systems Service* - IERS.

<sup>13</sup> Terrestrial Time, es un tiempo moderno estándar astronómico definido por la Unión Astronómica Internacional, principalmente para las mediciones de tiempo de las observaciones astronómicas realizadas desde la superficie de la Tierra.

<sup>14</sup> Es un modelo internacional estándar del Marco de Referencia Terrestre Internacional (ITRF) que describe las velocidades de los puntos en la superficie terrestre debido al movimiento de las placas tectónicas.

Los parámetros y sus variaciones de los ITRFs anteriores al ITRF2000, se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla. 2.2. Parámetros de Transformación desde ITRF2000 a Sistemas anteriores.**

Parámetros de Transformación desde el ITRF2000 a Sistemas anteriores.								
	Traslación			Rotación			Diferencia de Escala	Época de parámetros
ITRF	$T_x$ (cm)	$T_y$ (cm)	$T_z$ (cm)	$R_x$ (mas*)	$R_y$ (mas)	$R_z$ (mas)	$\delta$ (ppb**)	$t_k$
Rates***	$T_{\dot{x}}$ (cm/a)	$T_{\dot{y}}$ (cm/a)	$T_{\dot{z}}$ (cm/a)	$R_{\dot{x}}$ (mas/a)	$R_{\dot{y}}$ (mas/a)	$R_{\dot{z}}$ (mas/a)	$\dot{\delta}$ (ppb/a)	
<b>ITRF97</b>	0.67	0.61	-1.85	0.00	0.00	0.00	1.55	1997.0
Rates	0.00	-0.06	-0.14	0.00	0.00	0.02	0.01	
<b>ITRF96</b>	0.67	0.61	-1.85	0.00	0.00	0.00	1.55	1997.0
Rates	0.00	-0.06	-0.14	0.00	0.00	0.02	0.01	
<b>ITRF94</b>	0.67	0.61	-1.85	0.00	0.00	0.00	1.55	1997.0
Rates	0.00	-0.06	-0.14	0.00	0.00	0.02	0.01	
<b>ITRF93</b>	1.27	0.65	-2.09	-0.39	0.80	-1.14	1.95	1988.0
Rates	-0,29	-0.02	-0.06	-0.11	-0.19	0.07	0.01	
<b>ITRF92</b>	1.47	1.35	-1.39	0.00	0.00	-0.18	0.75	1988.0
Rates	0.00	-0.06	-0.14	0.00	0.00	0.02	0.01	
<b>ITRF91</b>	2.67	2.75	-1.99	0.00	0.00	-0.18	2.15	1988.0
Rates	0.00	-0.06	-0.14	0.00	0.00	0.02	0.01	
<b>ITRF90</b>	2.47	2.35	-3.59	0.00	0.00	-0.18	2.45	1988.0
Rates	0.00	-0.06	-0.14	0.00	0.00	0.02	0.01	
<b>ITRF89</b>	2.97	4.75	-7.39	0.00	0.00	-0.18	5.85	1988.0
Rates	0.00	-0.06	-0.14	0.00	0.00	0.02	0.01	
<b>ITRF88</b>	2.47	1.15	-9.79	0.10	0.00	-0.18	8.95	1988.0
Rates	0.00	-0.06	-0.14	0.00	0.00	0.02	0.01	

\*mas= miliarco segundo (001”).

\*\*ppb= partes por billón ( $10^{-9}$ ).

\*\*\*Rates= variación de los parámetros.

Fuente: <ftp://itrf.ensg.ign.fr>.

### • **ITRF2005**

El origen del ITRF2005 se define de tal de manera que los parámetros de traslación en la época 2000.0 son nulos, y las variaciones de las traslaciones entre el ITRF2005 y las series de tiempo *International Laser Ranging Service* - ILRS y SLR son también nulas.

La escala del ITRF2005 se define de tal de manera que el factor de escala es igual a cero en la época 2000.0, y de la razón de la escala es nula entre ITRF2005 y las series de tiempo *International VLBI Service* - IVS y VLBI. La combinación del ITRF2005 reveló una tendencia de la escala de 1 ppb en la época 2000.0 y la razón de la escala ligeramente



inferior a 0,1 ppb / año entre las series de tiempo SLR y VLBI. La selección del VLBI para definir la escala del ITRF2005 se justifica por la disponibilidad del historial de 26 años de observaciones del VLBI frente al SLR que solo cuenta con 13 años. La orientación del ITRF2005 se define de tal manera que los parámetros de rotación son nulos en la época 2000,0 y las variaciones de las rotaciones entre el ITRF2005 y el ITRF2000 también resultan nulas, (Altamimi, Z. y C. Boucher, 2004).

Se debe tomar en cuenta que a partir de la semana 1400 ya no se utiliza el marco ITRF2005 puesto que está calculado con calibraciones de antenas relativas, y no sería coherente con las efemérides precisas de la época de las coordenadas a calcular. En la tabla 2.3, se muestran los parámetros de transformación en época 2000.0 y sus variaciones de ITRF2005 a ITRF2000 (ITRF2000 menos ITRF2005).

**Tabla. 2.3. Parámetros de transformación del ITRF2005 al ITRF2000.**

Parámetros de Transformación del ITRF2005 al ITRF2000.								
	Traslación			Rotación			Diferencia de Escala	Época de parámetros
ITRF	$T_x$ (cm)	$T_y$ (cm)	$T_z$ (cm)	$R_x$ (mas)	$R_y$ (mas)	$R_z$ (mas)	$\delta$ (ppb)	$t_k$
Rates	$T_{\dot{x}}$ (cm/a)	$T_{\dot{y}}$ (cm/a)	$T_{\dot{z}}$ (cm/a)	$R_{\dot{x}}$ (mas/a)	$R_{\dot{y}}$ (mas/a)	$R_{\dot{z}}$ (mas/a)	$\dot{\delta}$ (ppb/a)	
	cm/a	cm/a	cm/a	mas/a	mas/a	mas/a	ppb/a	
<b>ITRF2000</b>	0.01	-0.08	-0.58	0.00	0.00	0.00	0.4	2000.0
Rates	-0.02	0.01	-0.18	0.00	0.00	0.00	0.08	

Fuente: [www.itrf.ensg.ign.fr](http://www.itrf.ensg.ign.fr).

- **IGS05**

*Internacional GNSS*<sup>15</sup> Service - IGS, es una federación de más de 200 agencias de rastreo GPS y GLONASS distribuidas a nivel mundial. Tiene por misión proporcionar datos, productos GPS de alta calidad y productos de datos en línea casi en tiempo real para alcanzar objetivos de una amplia gama de aplicaciones científicas, de ingeniería y de educación.

Las precisiones de los productos del IGS son suficientes para la mejora y ampliación del

<sup>15</sup> Global Navigation Satellite System, es una constelación de satélites que transmite rangos de señales utilizados para el posicionamiento y localización del receptor de un usuario en cualquier parte del globo terrestre. Las Instituciones que están operando con GNSS son GPS y GLONASS. Otro GNSS planeado para el futuro es Galileo de Europa.

Marco de Referencia Terrestre Internacional (ITRF), el control de deformaciones de la Tierra sólida, el control de rotación de la Tierra y las variaciones del líquido en la Tierra (nivel del mar, capas de hielo), para la determinación de la órbita de satélites científicos, de la ionosfera, y la recuperación de las mediciones de vapor de agua precipitable, (NASA, 2009). Actualmente, el IGS incluye GNSS, GPS y GLONASS<sup>16</sup>. En general, se puede pensar que el IGS tiene la más alta precisión de la comunidad Internacional civil del GPS (IGS, 2009).

El IGS05 es una solución, basada en ITRF05, pero considerando únicamente estaciones GPS, para lo cual se han utilizado 130 estaciones GPS. Desde la semana GPS 1400 (5 de Noviembre de 2006) se utiliza el sistema IGS05, el cual se calculó con calibraciones de antena absolutas, quiere decir que esta solución procesa con un modelo absoluto y no relativo, como ha sucedido en versiones de ITRFs previas, incluido ITRF05, (Zurutuza, 2009). Para permanecer compatible con los marcos de referencia terrestres calculados por el IERS, esta realización propuesta también fue realineada al ITRF2005 usando transformación de 7 parámetros (3 rotaciones, 3 traslaciones y 1 factor de escala); las variaciones de los parámetros no fueron afectadas por el cambio de centro de fase. Los parámetros de transformación estimados se pueden ver en la tabla 2.4:

Tabla. 2.4. Parámetros de transformación del IGS05 al ITRF2005.

Parámetros de Transformación del IGS05 al ITRF2005.							
	Traslación			Rotación			Diferencia de Escala
ITRF	$T_x$ (cm)	$T_y$ (cm)	$T_z$ (cm)	$R_x$ (mas)	$R_y$ (mas)	$R_z$ (mas)	$\delta$ (ppb)
Rates	$\dot{T}_x$ (cm/a)	$\dot{T}_y$ (cm/a)	$\dot{T}_z$ (cm/a)	$\dot{R}_x$ (mas/a)	$\dot{R}_y$ (mas/a)	$\dot{R}_z$ (mas/a)	$\dot{\delta}$ (ppb/a)
ITRF2005	0.165	-0.016	0.236	-0.01118	-0.00693	-0.00046	-1.85533
Rates	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Fuente: <http://igs.cb.jpl.nasa.gov>.

- **SIRGAS**

Según SIRGAS (2009), el Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas como sistema de referencia se define idéntico al *Sistema Internacional de Referencia Terrestre - ITRS* y su realización es la densificación regional del marco global de referencia terrestre

<sup>16</sup> Russia's Global Navigation Satellite System, proporciona determinaciones tridimensionales de posición y velocidad.

ITRF. Las coordenadas SIRGAS están asociadas a una época específica de referencia y su variación con el tiempo es tomada en cuenta ya sea por las velocidades individuales de las estaciones SIRGAS o mediante un modelo continuo de velocidades que cubre todo el continente. Las realizaciones o densificaciones de SIRGAS asociadas a diferentes épocas y referidas a diferentes soluciones del ITRF materializan el mismo sistema de referencia y sus coordenadas, reducidas a la misma época y al mismo marco de referencia ITRF, son compatibles en el nivel milimétrico.

El sistema SIRGAS mediante su origen, orientación y escala define al del datum geodésico SIRGAS, en base al elipsoide GRS80, cuyos parámetros elipsoidales tanto geométricos como físicos, se pueden ver en la siguiente tabla:

**Tabla. 2.5. Parámetros Elipsoidales del GRS80.**

Elipsoide GRS80		
$a$	Semieje Mayor	6378137 m
$f$	Achatamiento	1/298.257222101
$w$	Velocidad Angular de la Tierra	$7292115 \times 10^{-11}$ rad/seg
$GM$	Constante Gravitacional de la Tierra incluida la atmósfera.	$0.3986005 \times 10^8 \text{m}^3/\text{s}^2$

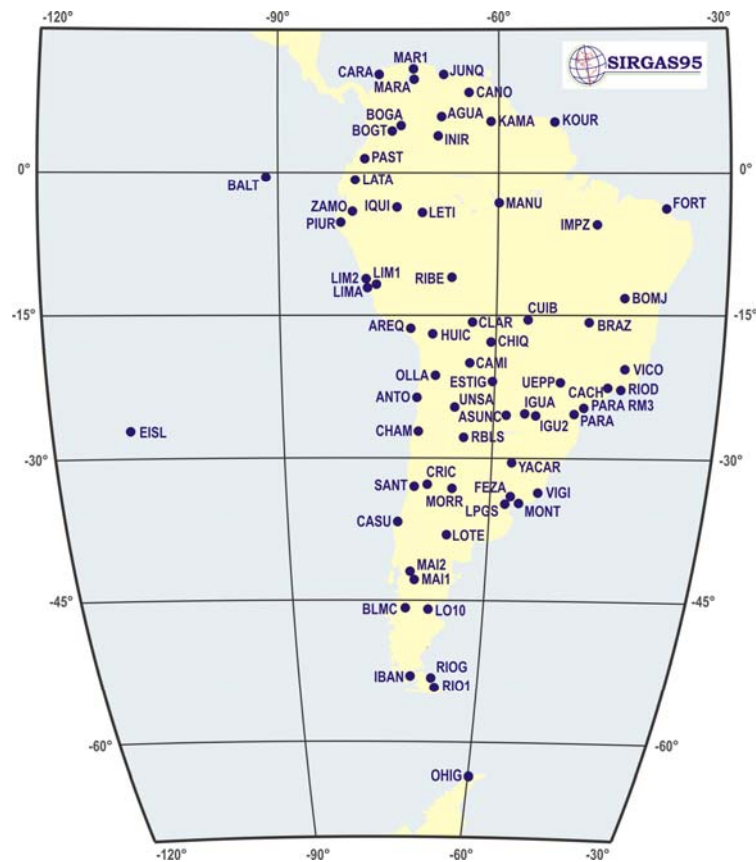
### Realizaciones de SIRGAS

La primera realización de SIRGAS (*SIRGAS95*) corresponde al ITRF94, época 1995.4 y está dada por una red GPS de alta precisión con 58 estaciones distribuidas sobre América del Sur (ver figura 2.2.). Esta red fue reocupada en el año 2000, extendiéndose a los países del Caribe, de Centro y Norte América. Por esta razón, el significado original del acrónimo SIRGAS (Sistema de Referencia Geocéntrico para América del Sur) cambió a Sistema de Referencia Geocéntrico para las Américas.

Las mediciones fueron procesadas independientemente por el *Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut* - DGFI y la NGA<sup>17</sup>. DGFI utilizó el software Bernese, v. 3.4 con algunas modificaciones implementadas por ese Instituto, mientras que NGA trabajó con el software GIPSY/OASIS II, (*SIRGAS95*, 2009).

<sup>17</sup> Es parte del Departamento de Defensa de los Estados Unidos de Norte América y un miembro de la Comunidad de Inteligencia nacional (IC, Intelligence Community). Esta Agencia desarrolla imágenes y soluciones de inteligencia a base de mapas para la defensa estadounidense y la seguridad de navegación.

La Red Geodésica actual del Ecuador está referida al ITRF94, época de referencia 1995.4, ya que el IGM enlazó esta Red a la Red Continental SIRGAS.



**Figura. 2.2. Ubicación de las estaciones SIRGAS95.**

Fuente: <http://www.sirgas.org>.

La segunda realización de SIRGAS (*SIRGAS2000*), corresponde al ITRF2000, época 2000.4 el cual incluye las estaciones SIRGAS95, los mareógrafos de referencia de América del Sur y algunos puntos fronterizos que permiten la conexión directa entre redes de nivelación vecinas.

SIRGAS2000 contiene 184 estaciones distribuidas en Norte, Centro y Sur América, (ver figura 2.3.). Esta red fue calculada por tres centros de procesamiento: el DGFI, el *Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística* - IBGE, y el *Bayerische Kommission für die Internationale Erdmessung* - BEK. El DGFI y el IBGE utilizaron el software Bernese, v. 4.0, mientras que BEK trabajó con el software GIPSY/OASIS II, (SIRGAS00, 2009).

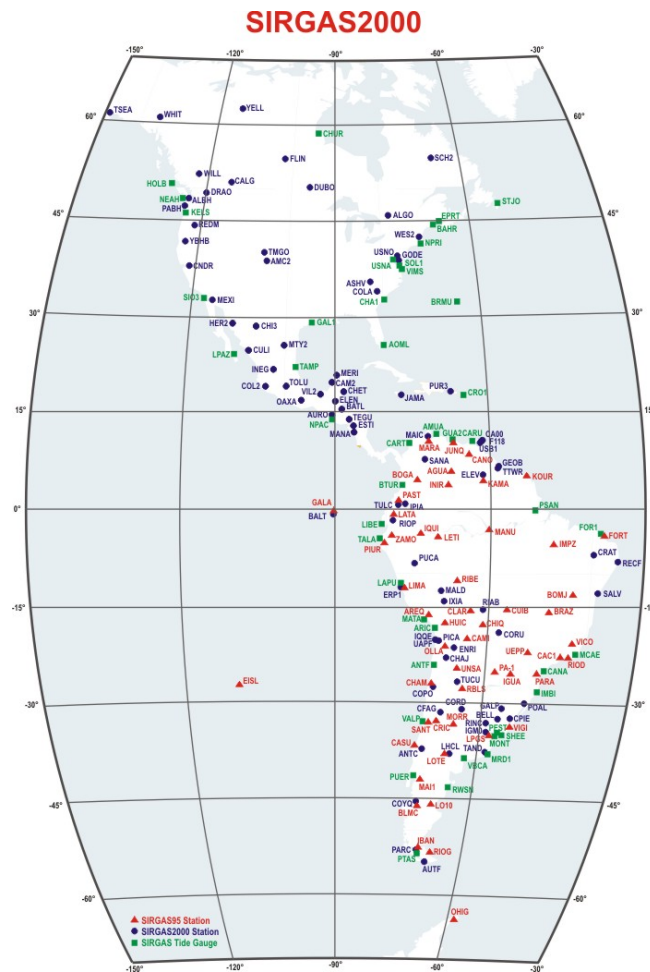


Figura. 2.3. Ubicación de las estaciones SIRGAS2000.

Fuente: <http://www.sirgas.org>.

La tercera realización, es la red SIRGAS de Operación Continua (*SIRGAS-CON*) Actualmente está compuesta por más de 200 estaciones GNSS, de funcionamiento permanente, de las cuales 48 pertenecen la red global del IGS, (ver figura 2.4.).

La operabilidad de SIRGAS-CON se fundamenta en la contribución voluntaria de más de 50 entidades latinoamericanas, que han instalado las estaciones y se ocupan de su operación adecuada para, posteriormente, poner a disposición de los centros de análisis la información observada. Esta realización es calculada semanalmente por los centros de procesamiento y combinación de SIRGAS. Las coordenadas y velocidades finales de las estaciones SIRGAS-CON son puestas a disposición de los usuarios por el IGS-RNAAC-SIR<sup>18</sup>, el cual opera en el DGFI. Las soluciones semanales fijas para la red SIRGAS-CON

<sup>18</sup> IGS Regional Network Associate Analysis Centre for SIRGAS, el DGFI comienza desde el mes de Junio de 1996 a procesar todos los datos disponibles de observaciones permanentes de estaciones GPS en el continente de Sudamérica y las regiones circundantes. Este Centro de Análisis ayuda a la Red IGS Regional de SIRGAS.

se refieren a la época de observación y al ITRF vigente, en la actualidad al IGS05, una realización del ITRF2005.

Las diferentes realizaciones de SIRGAS, reducidas a la misma época de referencia, son compatibles en el nivel del milímetro, (SIRGAS, 2009).

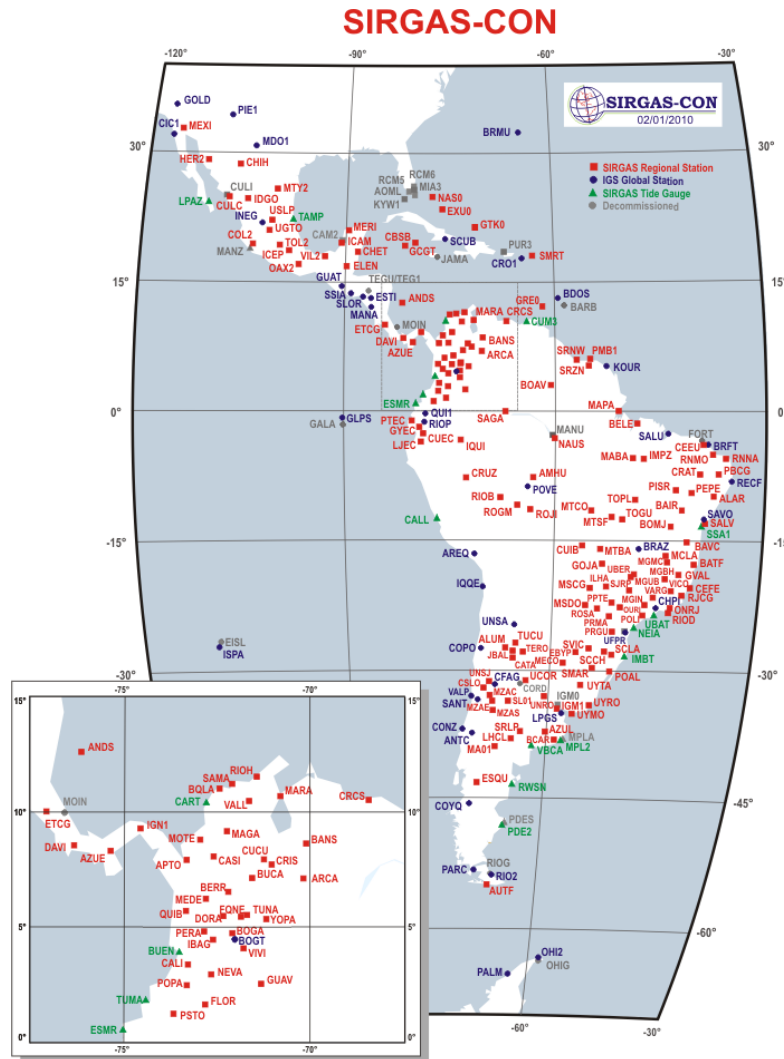


Figura. 2.4. Ubicación de las estaciones SIRGAS-CON.  
Fuente: <http://www.sirgas.org>.

### 2.2.3 World Geodetic System 1984 - WGS84

Es un sistema de referencia creado por el Departamento de Defensa de Estados Unidos el cual tiene por objetivo servir de base a las técnicas modernas de posicionamiento global como el GPS. Al estar orientado según los parámetros IERS es compatible con el ITRF, quiere decir que el elipsoide de referencia WGS84 (ver tabla 2.6) posee casi los mismos parámetros del sistema de referencia geocéntrico SIRGAS, cuyo elipsoide es el GRS80;

por lo tanto se asume en la práctica que las coordenadas del WGS84 y las de SIRGAS son iguales.

**Tabla. 2.6. Parámetros Elipsoidales del WGS84.**

Elipsoide WGS84		
$a$	Semieje Mayor	6378137 m
$f$	Achatamiento	1/298.257223563
$w$	Velocidad Angular de la Tierra	$7292115 \times 10^{-11}$ rad/seg
$GM$	Constante Gravitacional de la Tierra incluida la atmósfera	$0.3986004418 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{s}^2$

## 2.3 TRANSFORMACIÓN ENTRE ÉPOCAS Y SISTEMAS

### 2.3.1 Transformación entre Épocas de Referencia

Es el traslado de las coordenadas de referencia desde la época de definición a la época de observación del ITRF o viceversa. Por ejemplo, se tienen coordenadas cuya época de rastreo o de observación  $t_i$  es 2010.0 y deben trasladarse a la época  $t_o$  asociada a SIRGAS95 (1995.4). Dicho traslado o cambio de época se hace mediante las ecuaciones (2.2), (2.3) y (2.4):

$$X(t_o) = X(t_i) + (t_o - t_i) * V_x \quad (2.2)$$

$$Y(t_o) = Y(t_i) + (t_o - t_i) * V_y \quad (2.3)$$

$$Z(t_o) = Z(t_i) + (t_o - t_i) * V_z \quad (2.4)$$

Siendo las  $X(t_o)$ ,  $Y(t_o)$ ,  $Z(t_o)$  coordenadas en la época deseada,  $X(t_i)$ ,  $Y(t_i)$ ,  $Z(t_i)$  las coordenadas en la época de referencia,  $(t_o - t_i)$  el intervalo de tiempo transcurrido entre la realización del sistema de referencia y el levantamiento GNSS y  $V_x$ ,  $V_y$ ,  $V_z$  las velocidades de las estación de referencia.

Las velocidades que serán utilizadas para la transformación deben tomarse de las soluciones multi anuales de la red SIRGAS-CON generadas por el IGS-RNAAC-SIR. Si la estación de referencia no está incluida en dichas soluciones,  $V_x$ ,  $V_y$ ,  $V_z$  pueden tomarse del modelo VEMOS09, (Drewes y Heidbach 2009).

### 2.3.2 Modelo de Helmert

El modelo matemático de transformación de semejanza en espacio tridimensional, Isogonal, Conforme o de Helmert, expresa la relación entre dos sistemas de referencia por medio de tres traslaciones, tres rotaciones y un factor de escala. (Leiva, 2003).

De acuerdo a la figura 2.5, los dos sistemas de referencia (SIRGAS95 y PSAD56), para cualquier punto  $P$  del terreno, están relacionados espacialmente por:

$O_sP$  Vector de posición del punto  $P$  en el sistema de referencia cartesiano  $(X_s, Y_s, Z_s)$ ;

$O_pP$  Vector de posición del punto  $P$  en el sistema de referencia cartesiano  $(X_p, Y_p, Z_p)$ ;

$T$  Vector de traslación  $T_x, T_y, T_z$ , que va desde el origen del sistema de referencia cartesiano ( $O_s$ ) hasta el origen del otro sistema de referencia cartesiano ( $O_p$ ).

$R_x, R_y, R_z$  Rotaciones del sistema de referencia  $(X_p, Y_p, Z_p)$ ;

$\kappa$  Factor de escala, que es igual a  $(1+\delta)$ .

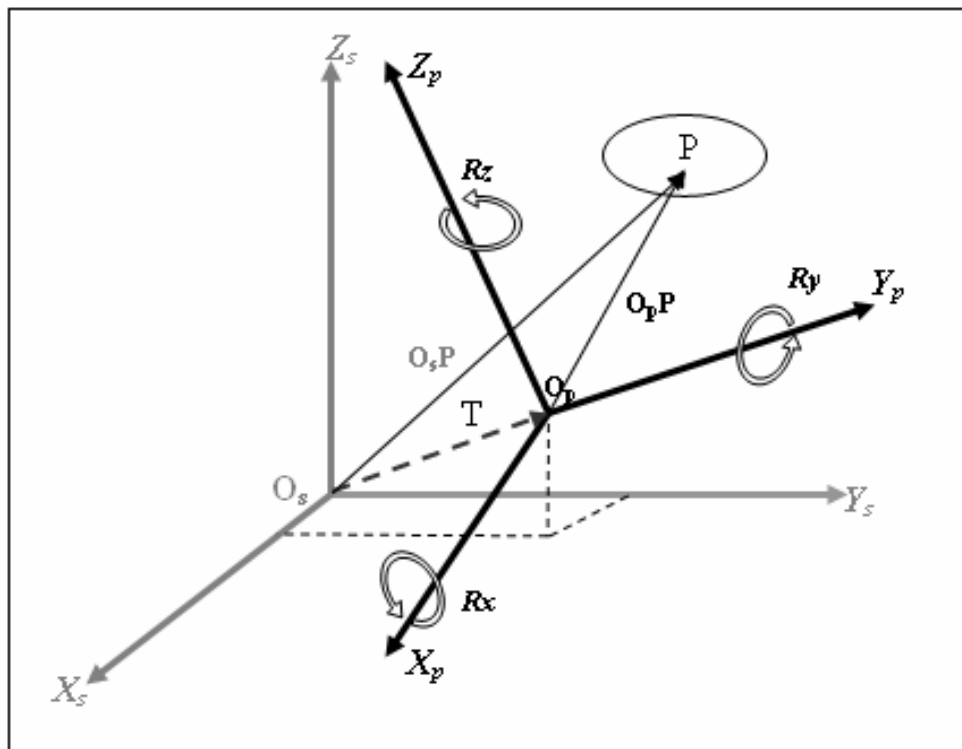


Figura. 2.5. Relación entre Sistemas de Referencia SIRGAS95 y PSAD56.

La ecuación (2.5) expresa matricialmente el modelo matemático de Helmert, que se utiliza para transformaciones de un Sistema de Referencia Clásico como PSAD56 a un Sistema Geocéntrico como SIRGAS95. Se puede realizar la transformación contraria ó viceversa de los sistemas, invirtiendo los signos de la ecuación (2.5), ya que la transformación de semejanza en espacio tridimensional es en doble sentido.



$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_s = \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{bmatrix} + (1 + \delta) \begin{bmatrix} 1 & R_z & -R_y \\ -R_z & 1 & R_x \\ R_y & -R_x & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_p \quad (2.5)$$

Donde:

$[X, Y, Z]_s^t$  es el vector de coordenadas calculadas al Sistema SIRGAS95;

$[T_x, T_y, T_z]^t$  es el vector de los parámetros de Traslación;

$(1 + \delta)$  Factor de escala;

$R_x, R_y, R_z$  son los parámetros de Rotación;

$[X, Y, Z]_p^t$  es el vector de coordenadas en PSAD56.

Se debe tomar en cuenta que, dentro de la ecuación (2.5), la matriz de rotación ortogonal formada con los parámetros de Rotación se basa en la ley de “la Mano Derecha”, en la cual el Sistema no es fijo en el espacio sino los vectores que se encuentran dentro del mismo. Además todas las rotaciones antihorarias son asumidas como positivas, ver la parte derecha de la figura 2.6, (Soler y Marshall, 2002).

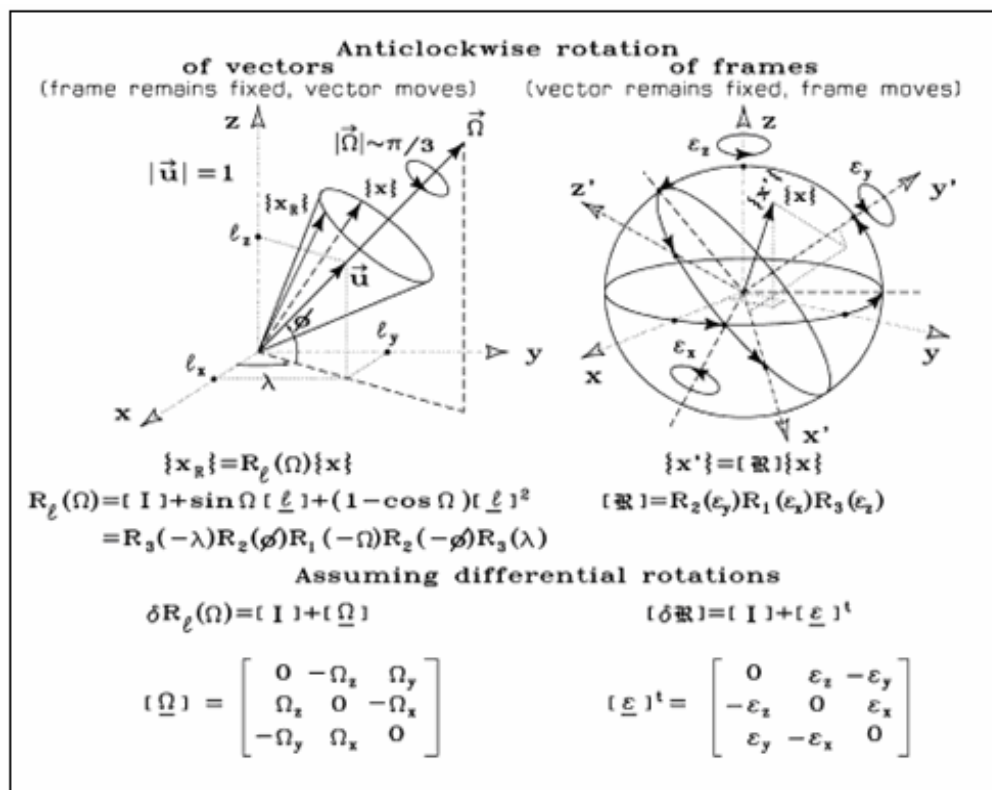


Figura. 2.6. Matrices de rotación antihoraria para vectores y para marcos.  
Fuente: Soler, Marshall, 2002.

El modelo de Helmert también se lo utiliza para realizar transformaciones entre ITRFs, mediante la ecuación (2.6), la diferencia entre la ecuación (2.5), es que el IERS como organismo supervisor de los ITRFs, formó un matriz de rotación ortogonal basándose en que el Sistema permanece fijo y son los vectores dentro de este los que se mueven. (Ver la parte izquierda de la figura 2.6.).

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{yy} = \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{bmatrix} + (1 + \delta) \cdot \begin{bmatrix} 1 & -R_z & R_y \\ R_z & 1 & -R_x \\ -R_y & R_x & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{xx} \quad (2.6)$$

Donde:

$[X, Y, Z]_{yy}^t$  es el vector de coordenadas calculadas al ITRF deseado;

$[T_x, T_y, T_z]^t$  es el vector de los parámetros de Traslación;

$(1 + \delta)$  Factor de escala;

$R_x, R_y, R_z$  son los parámetros de Rotación;

$[X, Y, Z]_{xx}^t$  es el vector de coordenadas basadas en el ITRF inicial.

### Siete Parámetros de Transformación entre ITRFs

El IERS determinó la relación entre los ITRFs existentes, mediante 3 traslaciones, 3 rotaciones y 1 factor de escala. Las tablas 2.2, 2.3 y 2.4, contienen los parámetros de transformación entre los diferentes Marcos de Referencia Terrestre. La tabla 2.2 contiene los parámetros de transformación del ITRF00 a cualquier ITRF anterior a este, el presente estudio tomó como base al ITRF94 ya que la Red GPS del Ecuador está referida a este Marco mediante SIRGAS95. La ecuación (2.7) se basa en la ecuación (2.6), con la cual se puede transformar las coordenadas de cualquier punto en ITRF00 a ITRF94:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{ITRF94} = \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{bmatrix} + (1 + \delta) \cdot \begin{bmatrix} 1 & -R_z & R_y \\ R_z & 1 & -R_x \\ -R_y & R_x & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{ITRF00} \quad (2.7)$$

Donde:

$[X, Y, Z]_{ITRF94}^t$  es el vector de coordenadas calculadas en el ITRF94;

$[T_x, T_y, T_z]^t$  es el vector de los parámetros de Traslación;

$(1 + \delta)$  Factor de escala;

$R_x, R_y, R_z$  son los parámetros de Rotación;

$[X, Y, Z]^t_{ITRF00}$  es el vector de coordenadas de entrada en ITRF00.

De igual manera, los parámetros que se encuentran en las tablas 2.3 y 2.4, se pueden sustituir en la ecuación (2.7) para realizar transformaciones entre ITRFs, tomando en cuenta como se calcularon dichos parámetros. Un ejemplo de esto, son los parámetros de transformación del ITRF05 al ITRF00 (ITRF00 menos ITRF05), esto quiere decir que los parámetros fueron calculados para transformar las coordenadas de un de un punto cualquiera de ITRF05 al ITRF00.

Como no existen parámetros directos entre el ITRF94 y el IGS05, es necesario realizar transformaciones de IGS05 a ITRF94 pasando por los Marcos que se encuentran entre ellos, como se muestra en la figura 2.7.

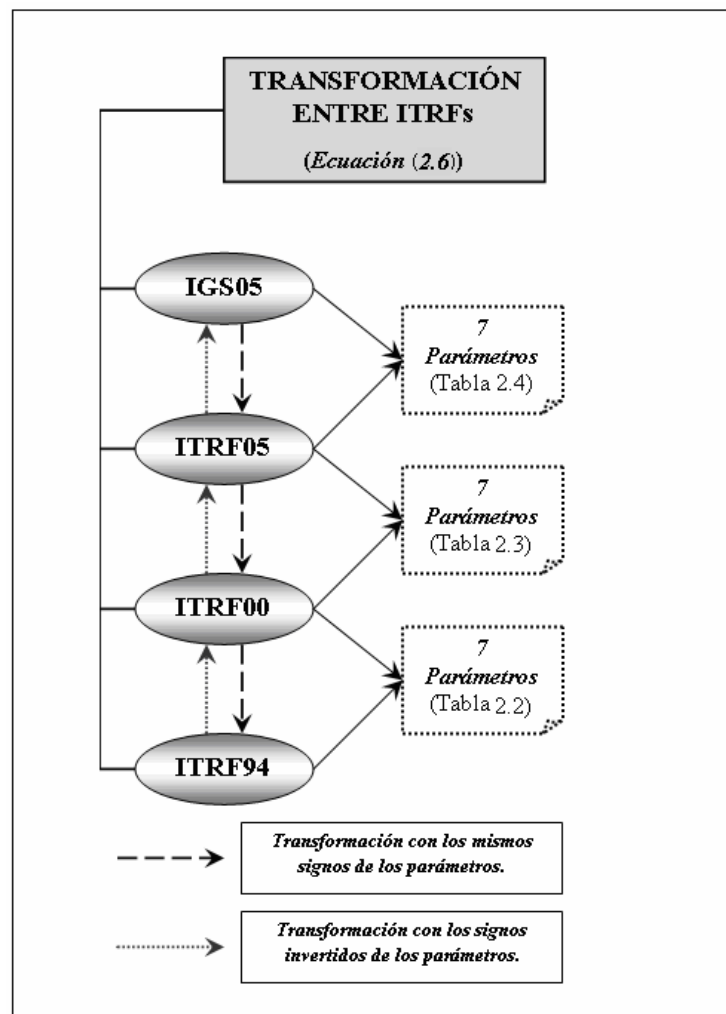


Figura. 2.7. Transformación entre ITRFs.

### Catorce Parámetros de Transformación entre ITRFs

Debido a los avances que existen en el área del posicionamiento GPS a nivel mundial, es necesaria una mayor exactitud en el cálculo de coordenadas y en las transformaciones entre Marcos de Referencia, ya que ahora se toma en cuenta el parámetro *tiempo* para realizar estos tipos de cálculos. Con el *tiempo* se puede determinar la distancia que se ha movido las coordenadas de un punto cualquiera debido a la influencia de las placas tectónicas, además se pueden conocer las variaciones de los parámetros de transformación a medida que pasa el tiempo.

Se conoce que la relación entre dos ITRFs viene dada generalmente por siete parámetros de transformación mediante el modelo de Helmert (3 traslaciones, 3 rotaciones y 1 factor de escala), en esta transformación se suman otros siete, que representan las variaciones de los parámetros en el tiempo, (ver las tablas 2.2, 2.3 y 2.4).

Se puede utilizar la ecuación (2.6) para realizar transformaciones entre ITRFs. Como ejemplo de transformaciones entre ITRFs, se puede tomar la transformación del ITRF2000 (ITRF00) a cualquier ITRF (ITRF<sub>yy</sub>), donde  $(X, Y, Z)_{yy}$  son las coordenadas en el sistema ITRF<sub>yy</sub>,  $(X, Y, Z)_{xx}$  son las coordenadas en ITRF00,  $(T_x, T_y, T_z)$  son Traslaciones,  $(R_x, R_y, R_z)$  son las Rotaciones y  $\delta$  la Diferencia de Escala. Por lo tanto, se asume que el ITRF00 no cambia con el tiempo y que las coordenadas del punto a transformar están fijas en el espacio (no hay velocidades). Con esto solo se utiliza la ecuación de Helmert que se acoplado en la ecuación (2.8).

$$\{X(t_o)\}_{ITRF_{yy}} = \{T_x\} + (1 + \delta) [\mathfrak{R}] \{X(t_o)\}_{ITRF00} \quad (2.8)$$

Siendo:

$\{X(t_o)\}_{ITRF_{yy}}$  las coordenadas transformadas del punto en ITRF00 al ITRF<sub>yy</sub>;

$\{T_x\}$  la matriz de los parámetros de Traslación;

$(1 + \delta)$  Factor de escala;

$\{X(t_o)\}_{ITRF00}$  las coordenadas del punto en el ITRF00;

$t_o$  denota la época asociada al datum;

$[\mathfrak{R}]$  la matriz de Rotación diferencial de las magnitudes de  $R_x$ ,  $R_y$ , y  $R_z$  en torno a un eje arbitrario. Esta se da explícitamente por:

$$[\mathfrak{R}] = [I] + [R]^t = [I] + \begin{bmatrix} 0 & R_z & -R_y \\ -R_z & 0 & R_x \\ R_y & -R_x & 0 \end{bmatrix} \quad (2.9)$$

$[I]$  matriz Identidad.

Después se asume que las coordenadas del punto en el ITRF00 se mueven a una velocidad determinada en el espacio respecto a un marco que se mantiene fijo (ecuación (2.10)), por lo tanto se conoce las velocidades y las coordenadas de una determinada época  $t_o$  ó  $t_i$ .

$$\{X(t_o)\}_{ITRFyy} = \{T_x\} + (1 + \delta) [\mathfrak{R}] \left\{ \{X(t_i)\}_{ITRF00} + (t_o - t_i) \{Vx\}_{ITRF00} \right\} \quad (2.10)$$

Siendo:

$\{X(t_i)\}_{ITRF00}$  las coordenadas del punto en ITRF00 en una época arbitraria;

$t_i$  la época arbitraria, puede ser el tiempo actual de observación;

$t_o$  la época de las coordenadas transformadas en el ITRFyy;

$\{Vx\}_{ITRF00}$  las velocidades del punto que se encuentra en ITRF00.

En las ecuaciones (2.8) y (2.10) se asume que los parámetros de Helmert están referidos a la época  $t_o$ , por lo tanto se asume que  $t_o$  y  $tk$  son iguales ( $t_o = tk$ ).

Finalmente se asume que los parámetros de la ecuación de Helmert cambian respecto al tiempo y se dan en una determinada época  $tk$  generalmente distinta ( $t_o \neq tk$ ), como se muestran en las siguientes fórmulas (Soler y Marshall, 2003):

$$\{T_x\} \equiv \{T_x(t_o)\} = \{T_x(t_k)\} + (t_o - t_k) \{\dot{T}_x\} \quad (2.11)$$

$$[\dot{R}]^t \equiv [R(t_o)]^t = [R(t_k)]^t + (t_o - t_k) [\dot{R}]^t \quad (2.12)$$

$$\delta \equiv \delta(t_o) = \delta(t_k) + (t_o - t_k) \dot{\delta} \quad (2.13)$$

Siendo:

$\dot{T}_x$  las variaciones de las Traslaciones respecto al tiempo;

$\dot{\delta}$  las variaciones de la diferencia de Escala respecto al tiempo;

$[\dot{R}]^t$  las variaciones de las Rotaciones referente al tiempo, donde la derivada respecto al tiempo ( $d[R]^t/dt$ ) se da por la ecuación (2.14):

$$[\dot{R}]^t = \begin{bmatrix} 0 & \dot{R}_z & -\dot{R}_y \\ -\dot{R}_z & 0 & \dot{R}_x \\ \dot{R}_y & -\dot{R}_x & 0 \end{bmatrix} \quad (2.14)$$

En las ecuaciones (2.11), (2.12) y (2.13) se encuentran todos los parámetros que se requieren para formar la ecuación de *matrices de transformación rigurosa* ó la ecuación de los catorce parámetros, (ver ecuación (2.15)), (Soler y Marshall, 2002).

$$\begin{aligned} \{X(t_o)\}_{ITRFyy} &= \{T_x(t_k)\} + (t_o - t_k) \{\dot{T}_x\} \\ &+ \left[ (1 + \delta(t_k)) [\mathfrak{R}] + (t_o - t_k) \left[ (1 + \delta(t_k)) [\dot{R}]^t + \delta[\mathfrak{R}] \right] + (t_o - t_k)^2 \delta[\dot{R}]^t \right] \\ &* \{ \{X(t_i)\}_{ITRF00} + (t_o - t_i) \{V_x\}_{ITRF00} \} \end{aligned} \quad (2.15)$$

Siendo:

$t_o$  la época de las coordenadas transformadas en el ITRFyy;

$t_k$  la época en la cual los parámetros de transformación de Helmert fueron dados;

$t_i$  la época arbitraria, puede ser el tiempo actual de observación;

$$[\mathfrak{R}] = [I] + [R(t_k)]^t.$$

Con la ecuación rigurosa se puede realizar cualquier tipo de transformación entre Marcos de referencia. Para mayor entendimiento de estas transformaciones, se puede revisar el Anexo A que contiene ejemplos de cómo ingresar las épocas de observación, época de los parámetros y época del datum.

Para realizar transformaciones de  $t_k$  sin utilizar la ecuación (2.15), primero se transforman los parámetros utilizando sus variaciones dadas en las tablas 2.2, 2.3 y 2.4; por ejemplo, el valor de un parámetro  $p(t_{k_n})$  en una época  $t_k$  se determina mediante la siguiente ecuación (Curso Avanzado de Sistemas de Posicionamiento por Satélite, 2006):

$$p(t_{k_n}) = p_{t_k} + \dot{p}_{t_k} (t_{k_n} - t_k) \quad (2.16)$$

Donde:

$t_{k_n}$  es la nueva época a la que se quiere llevar los parámetros;

$p_{t_k}$  son los parámetros que se encuentran indicados en las tablas 2.2, 2.3 y 2.4;

$\dot{p}_{t_k}$  son las variaciones de los parámetros en el tiempo, ver tablas 2.2, 2.3 y 2.4.

Luego de obtener los nuevos parámetros debido al cambio de época, se utiliza la ecuación (2.3) para transformar el ITRF de las coordenadas a otro ITRF que se desea. Por último, se realiza el cambio de época de referencia de las coordenadas mediante las ecuaciones (2.2), (2.3) y (2.4).

### 2.3.3 Método de Mínimos Cuadrados (MMC)

Básicamente, existen tres métodos para la estimación de los parámetros, en base al criterio del método de mínimos cuadrados (MMC). Estos son métodos son el *paramétrico*, el *correlativo* y el *combinado*.

El MMC es el criterio usado en el procedimiento de estimación de los parámetros, el cual tiene por objetivos:

- Estimar, mediante la aplicación de modelos matemáticos adecuados y el MMC, el valor más probable para cada una de las incógnitas del problema;
- Estimar la precisión de estas incógnitas y una eventual correlación entre ellas.

La precisión de las incógnitas es obtenida de la *Matriz Varianza Covarianza* - MVC determinada después del ajuste. La MVC es una matriz simétrica, esto es,  $\sigma_{ij} = \sigma_{ji}$  cuyos elementos de la diagonal son las varianzas  $\sigma_i^2$ , y las covarianzas están fuera de la diagonal. Esta matriz desempeña un papel relevante en el análisis del ajuste, posibilita la estimación de la precisión con que las incógnitas fueron obtenidas. La matriz varianza-covarianza es probablemente, la cantidad más importante en estadística multivariada usada en geodesia, (Leiva, 2003).

#### **Método Paramétrico.**

Este método también es denominado método de ecuaciones de observación, ya que cada observación contribuye con una ecuación. Leiva (2003), se basó en este método para determinar ecuaciones de observación, las cuales resultan de las diferencias de coordenadas entre puntos comunes en PSAD56 y SIRGAS95. El resultado de estas diferencias genera tres ecuaciones de observaciones en cada punto común.

En el método paramétrico, las observaciones ajustadas están en función de los parámetros ajustados mediante la siguiente ecuación:

$$L_a = F(Xa) \quad (2.17)$$

Donde:

$$L_a = L_b + V \quad (2.18)$$

y

$$X_a = X_o + X \quad (2.19)$$

Siendo:

$L_a(m, 1)$  el vector de observaciones ajustadas;

$L_b(m, 1)$  el vector de observaciones observadas;

$V(m, 1)$  el vector de los residuos;

$X_a(u, 1)$  el vector de los parámetros ajustados;

$X_o(u, 1)$  el vector de los parámetros aproximados;

$X(u, 1)$  el vector de correcciones

Donde:

$m$  número de observaciones;

$u$  número de parámetros, igual a siete;

$a$  denota cantidades ajustadas;

$o$  representa cantidades aproximadas;

$b$  es usado para cantidades observadas.

Ahora, se sustituye las ecuaciones (2.18) y (2.19) en la ecuación (2.17), luego de linealizar por series de Taylor, se realiza una manipulación algebraica obteniendo la ecuación (2.20):

$${}_{3n}V_1 = {}_{3n}A_7 \cdot {}_7X_1 + {}_{3n}L_1 \quad (2.20)$$

Donde:

$${}_{3n}A_7 = \left. \frac{\partial F}{\partial X_a} \right|_{X_o}; \quad (2.21)$$

$${}_7X_1 = -{}_7N_7^{-1} \cdot {}_7U_1; \quad (2.22)$$



Con:

$${}_7N_7 = {}_7A_{3n}^T \cdot {}_{3n}P_{3n} \cdot {}_{3n}A_7; \quad (2.23)$$

$${}_7U_1 = {}_7A_{3n}^T \cdot {}_{3n}P_{3n} \cdot {}_{3n}L_1; \quad (2.24)$$

$${}_{3n}L_{o_1} = F(X_o); \quad (2.25)$$

$${}_{3n}L_1 = {}_{3n}L_{o_1} - {}_{3n}L_{b_1}. \quad (2.26)$$

La ecuación (2.20) es el modelo linealizado para el método paramétrico de ajuste. Esta representa un sistema de  $3n$  ecuaciones, ligadas por igual número de observaciones y siete parámetros. La matriz de derivadas parciales  $A$  debe ser evaluada para un valor particular de  $X_o$ . De la misma forma, el vector  $L_o$  es el valor de la función matemática (2.18), evaluada para los parámetros aproximados, (Leiva, 2003).

Para entender las observaciones ajustadas como una función de los parámetros ajustados (ecuación (2.17)), es necesario manipular la ecuación (2.5) de manera que:

$$\begin{bmatrix} X_s \\ Y_s \\ Z_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_x \\ T_y \\ T_z \end{bmatrix} + (1 + \delta) \cdot \begin{bmatrix} X_p + (R_z \cdot Y_p) - (R_y \cdot Z_p) \\ Y_p + (R_x \cdot Z_p) - (R_z \cdot X_p) \\ Z_p + (R_y \cdot X_p) - (R_x \cdot Y_p) \end{bmatrix} \quad (2.27)$$

Luego se manipula la ecuación (2.27) para establecer las ecuaciones de observación:

$$\begin{bmatrix} X_s - X_p \\ Y_s - Y_p \\ Z_s - Z_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} T_x + (R_z \cdot Y_p) - (R_y \cdot Z_p) \\ T_y + (R_x \cdot Z_p) - (R_z \cdot X_p) \\ T_z + (R_y \cdot X_p) - (R_x \cdot Y_p) \end{bmatrix} + \delta \cdot \begin{bmatrix} X_p + (R_z \cdot Y_p) - (R_y \cdot Z_p) \\ Y_p + (R_x \cdot Z_p) - (R_z \cdot X_p) \\ Z_p + (R_y \cdot X_p) - (R_x \cdot Y_p) \end{bmatrix} \quad (2.28)$$

Donde:

$$L_b = \begin{bmatrix} X_s - X_p \\ Y_s - Y_p \\ Z_s - Z_p \end{bmatrix} \quad (2.29)$$

La matriz de derivadas parciales  $A$  dada por la ecuación (2.22), es obtenida de la ecuación (2.28), de modo que:

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & -(1+\delta).Z_p & (1+\delta).Y_p & X_p + (R_z \cdot Y_p) - (R_y \cdot Z_p) \\ 0 & 1 & 0 & (1+\delta).Z_p & 0 & -(1+\delta).X_p & Y_p + (R_x \cdot Z_p) - (R_z \cdot X_p) \\ 0 & 0 & 1 & -(1+\delta).Y_p & (1+\delta).X_p & 0 & Z_p + (R_y \cdot X_p) - (R_x \cdot Y_p) \end{bmatrix} \quad (2.30)$$

Se debe tomar en cuenta que con cada punto que se utiliza para calcular los nuevos parámetros de transformación, se obtiene un sub vector igual a la de la ecuación (2.29).

Para el presente proyecto se considera que los parámetros aproximados  $X_o$  sean inicialmente cero, ya que no se tomaron ningunos otros parámetros para el cálculo de los nuevos.

Entonces nuestras sub matrices resultan de la siguiente forma:

$$A_i = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & -Z_p & Y_p & X_p \\ 0 & 1 & 0 & Z_p & 0 & -X_p & Y_p \\ 0 & 0 & 1 & -Y_p & X_p & 0 & Z_p \end{bmatrix} \quad (2.31)$$

Debido a que la matriz  $A$  es evaluada para  $X_o$  igual a cero.

Se puede obtener el sub vector de  $L$  para cada punto de la ecuación (2.26), o recordando la consideración del vector nulo  $X_o$ , de lo cual se obtiene la siguiente ecuación:

$$L = \begin{bmatrix} X_p - X_s \\ Y_p - Y_s \\ Z_p - Z_s \end{bmatrix} \quad (2.32)$$

Luego de ya definidas las ecuaciones, se puede utilizar las ecuaciones (2.23) y (2.24) para calcular  $X$  que es el vector de corrección de los parámetros, tomando en cuenta que la matriz de los pesos inmersa en las ecuaciones es igual a la Matriz Identidad.

Los parámetros ajustados se obtienen, mediante un proceso iterativo, de acuerdo a la ecuación (2.19).

Es necesario para el ajuste calcular la varianza a priori, ya que indica la precisión de las observaciones utilizadas. En el presente proyecto se considera a la varianza a priori  $\sigma_o^2$  igual a la unidad, debido a que las observaciones no son correlacionadas, (Leiva, 2003).

Luego de realizar el ajuste por MMC, se realiza una estimación de la varianza a posteriori  $\hat{\sigma}_o^2$  mediante la varianza de observación de peso unitario a posteriori, que está dada por:

$$\hat{\sigma}_o^2 = \frac{V^T \cdot P \cdot V}{S} \quad (2.33)$$

Donde:

$$S = (n-u)$$

$n$  El número total de puntos comunes con coordenadas conocidas en ambos sistemas de referencia.

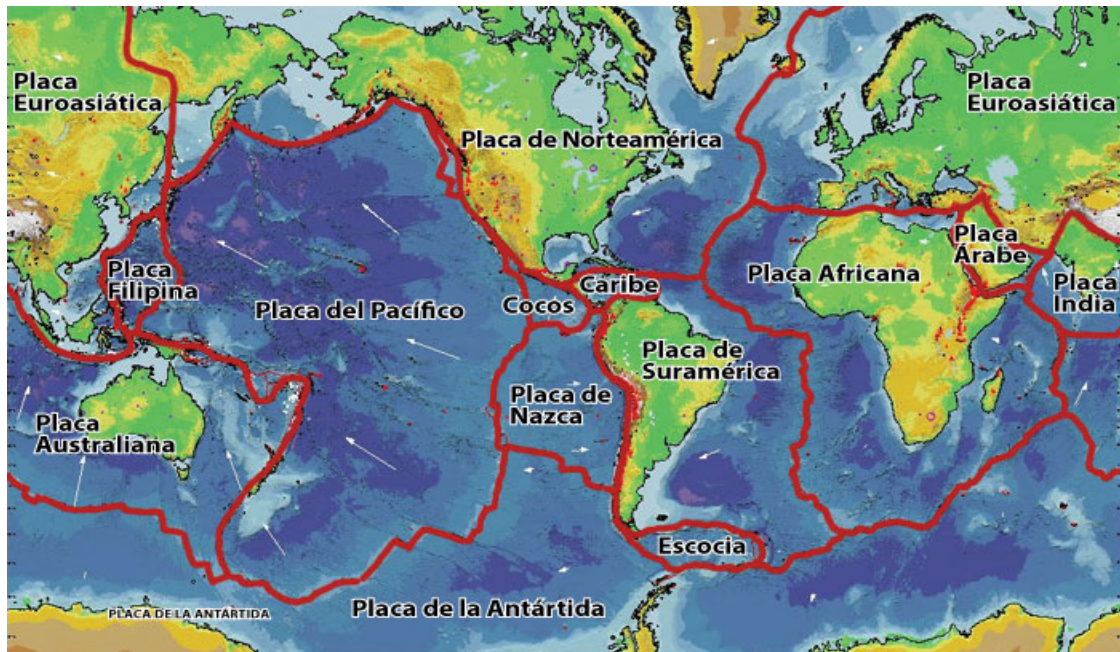
## 2.4 PLACAS TECTÓNICAS

La fuerza principal que da forma a nuestro planeta a lo largo de mucho tiempo es el movimiento de la capa externa, a través del proceso de tectónica de placas. Como se muestra en la figura 2.8, la rígida capa externa de la Tierra llamada litósfera está formada por placas que encajan entre sí como un rompecabezas. Estas placas están hechas de rocas pero la roca es, por lo general, muy liviana en comparación con el denso fluido que tiene debajo, esto permite que las placas "floten" sobre el material más denso.

Los movimientos que ocurren muy dentro de la Tierra llevan calor desde el interior hasta una superficie más fría, y hace que las placas se muevan muy lentamente a lo largo de la superficie, a un ritmo de aproximadamente 5 centímetros por año. Existen muchas hipótesis diferentes para explicar exactamente cómo es que estos movimientos permiten que las placas se desplacen, (<http://www.windows.ucar.edu>). Estos movimientos crean montañas, provocan terremotos y volcanes y abren fosas en las profundidades del mar. La interacción entre dos placas tectónicas puede estar definida por alguno de los tres siguientes tipos de contacto entre placas: falla transformante, divergencia litosférica y convergencia litosférica.

Las fallas transformantes son límites a lo largo de los cuales se deslizan las dos placas sin creación ni destrucción de litósfera; las zonas de divergencia son límites en los que se

separan las placas, estos márgenes son típicos de las dorsales oceánicas; y las zonas de convergencia son límites en los que existe una colisión entre dos placas; la placa mas densa (placa oceánica) subduce por debajo de la placa de menor densidad (placa continental) formando una trinchera, (<http://tlacaelel.igeofcu.unam.mx>).



**Figura. 2.8. Placas Tectónicas.**  
Fuente: <http://www.windows.ucar.edu>

#### 2.4.1 Movimiento de Placas Tectónicas en el Ecuador

Se puede observar en la figura 2.8, que el Ecuador se encuentra sobre las Placas Tectónicas de Nazca y la de los Cocos.

La Placa de Nazca es una placa tectónica oceánica que se encuentra en el Océano Pacífico oriental, junto a la costa occidental de Sudamérica. El borde oriental de la placa se encuentra en una zona de subducción bajo la Placa Sudamericana, lo que ha dado origen a la Cordillera de los Andes y a la Fosa Peruano-Chilena. Las Islas Galápagos se encuentra en la unión de las de Nazca, del Pacífico y de Cocos.

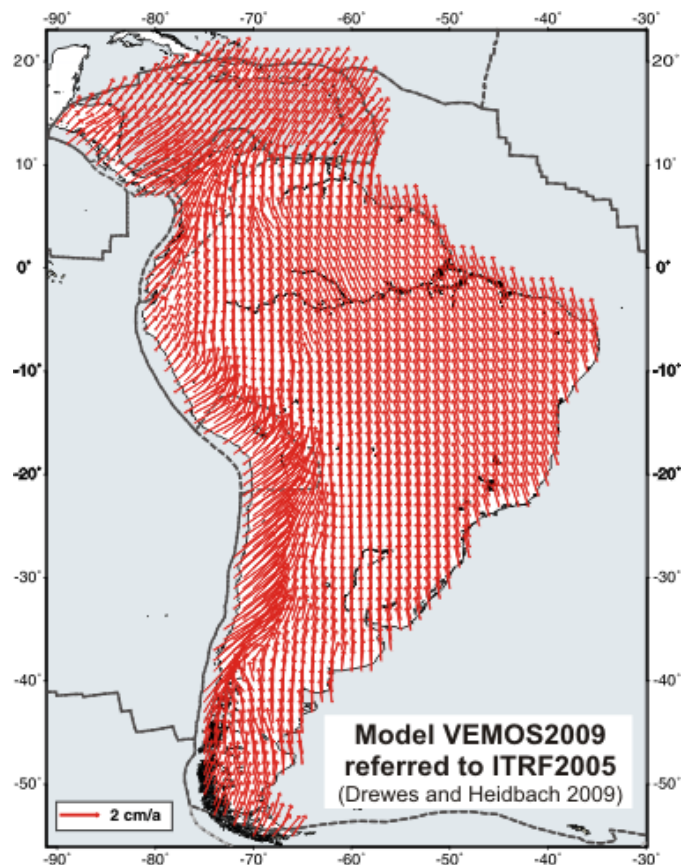
#### 2.5 MODELO DE VELOCIDADES PARA AMÉRICA DEL SUR Y EL CARIBE (VEMOS2009)

SIRGAS realizó un Modelo de Velocidades llamado VEMOS, el cual fue calculado a partir de las coordenadas SIRGAS95 y SIRGAS2000, de las velocidades de las estaciones

SIRGAS-CON determinadas por el IGS-RNAAC-SIR y de diferentes proyectos geodinámicos desarrollados en la región (Drewes y Heidbach 2005). Este modelo lineal corresponde a una cuadrícula de  $1^\circ \times 1^\circ$  con velocidades horizontales, las cuales pueden interpolarse con el programa VELINTER.

Actualmente, existe el VEMOS2009 referido al ITRF2005, fue calculado de igual manera que el VEMOS, la diferencia es que este tiene mayor número de estaciones SIRGAS-CON distribuidas en América del Sur y el Caribe (figura 2.9.), con sus respectivas velocidades, que de igual forma son determinadas por IGS-RNAAC-SIR (Drewes y Heidbach 2009).

Este modelo es no lineal y corresponde a una cuadrícula de  $1^\circ \times 1^\circ$  con velocidades horizontales, las cuales pueden interpolarse con el programa VMS2009 disponible en <http://www.sirgas.org/index.php?id=54&L=0>.



**Figura. 2.9. Modelo VEMOS2009.**

Fuente: <http://www.sirgas.org>

## 2.6 TIPO DE ALTURAS

La altura de un punto sobre la superficie terrestre es la distancia existente, sobre la línea vertical, entre éste y una superficie de referencia. Su determinación se realiza mediante un procedimiento conocido como nivelación, el cual, a su vez, puede ser barométrico, trigonométrico, geométrico o espacial. Sin embargo, dado a la influencia del campo de gravedad terrestre en el proceso de medición, los resultados obtenidos deben ser cualificados involucrando correcciones gravimétricas.

En el proceso convencional de determinación de alturas, el telescopio del instrumento es tangente a la superficie equipotencial local y la línea de la plomada coincide con el vector de la fuerza de gravedad, el cual es perpendicular a aquellas superficies. De aquí, las diferencias de nivel calculadas no solo reflejan las variaciones topográficas del terreno, sino que además consideran las alteraciones gravitacionales de la Tierra. La desviación que estas alteraciones generan sobre las alturas medidas puede ser cuantificada y tratadas de acuerdo con los conceptos físicos considerados en su procesamiento. Así, las alturas utilizadas en Geodesia se clasifican según su determinación, su aplicación y el modelo matemático o físico considerado en su definición. Dentro de este marco, se distinguen alturas de tipo geométrico (niveladas y elipsoidales) y alturas de tipo físico (dinámicas, normales y ortométricas), (SIRGAS, 2002).

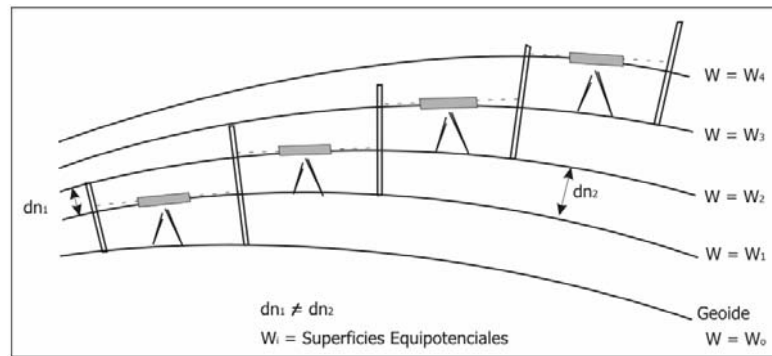
### 2.6.1 Alturas de Tipo Geométrico

#### Alturas Niveladas

Son las obtenidas bajo el proceso de nivelación geométrica con métodos ópticos de medición. Las diferencias de nivel observadas varían de acuerdo con el campo de gravedad propio al sitio en consideración.

Las cantidades observadas ( $dn$ ) corresponden con la distancia existente entre las superficies equipotenciales del campo de gravedad terrestre y su sumatoria permite conocer la diferencia de altura entre puntos de interés (Ver figura 2.10.).

No obstante, debido a la forma elipsoidal de la Tierra y a la distribución irregular de sus masas internas, las superficies equipotenciales no son equidistantes; los valores de desnivel entre éstas, varían de acuerdo con el trayecto de medición.



**Figura. 2.10. Alturas Niveladas.**

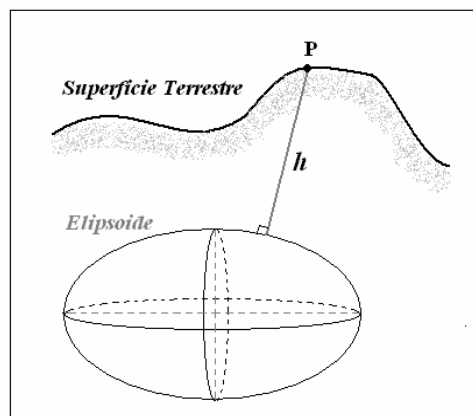
Fuente: Leiva, 2003.

Como estas alturas dependen del camino descrito en el proceso de nivelación, fácilmente pueden obtenerse diferentes valores de altura para un mismo punto, haciendo que sean utilizadas en áreas pequeñas que no requieren considerar ni la figura elipsoidal de la Tierra ni las variaciones de su campo de gravedad. Su aplicación práctica es efectiva solo en redes locales con, aproximadamente, 10 Km. de extensión, (SIRGAS, 2002).

Las alturas sobre el nivel medio del mar son materializadas en una serie de puntos fijos que conforman la *Red de Control Vertical del Ecuador*, la cual fue calculada mediante Alturas Niveladas que se refirieron al datum vertical de La Libertad, ubicado en la provincia de Santa Elena, el cual fue calculado entre los años 1960 y 1961, con 19 años de observación (1950 - 1959), (Paredes, 1986).

### Alturas Elipsoidales

Se denomina altura elipsoidal a la distancia desde un punto  $P$  en la superficie terrestre hasta el elipsoide a lo largo de la normal a este, (Curso Avanzado de Posicionamiento por Satélite, 2006), (figura 2.11.)



**Figura. 2.11. Altura Elipsoidal.**

Las alturas elipsoidales son obtenidas a partir de las coordenadas geocéntricas cartesianas (X, Y, Z) definidas sobre un elipsoide de referencia (por ejemplo: GRS80 ó WGS84), y determinadas a partir del posicionamiento satelital de los puntos de interés.

Debido a la utilización masiva de la técnica GPS, es indispensable considerar este tipo de alturas en los registros oficiales de las cantidades directamente medidas. Sin embargo, como éstas no consideran el campo de gravedad terrestre en su determinación, pueden presentar valores iguales en puntos con niveles diferentes, o viceversa, haciendo que su aplicación práctica sea mínima. Tal circunstancia exige que éstas sean complementadas con otro tipo que sí considere el campo de gravedad terrestre.

Las alturas elipsoidales se relacionan con las alturas ortométricas (ver figura 2.12.) por medio de la siguiente ecuación:

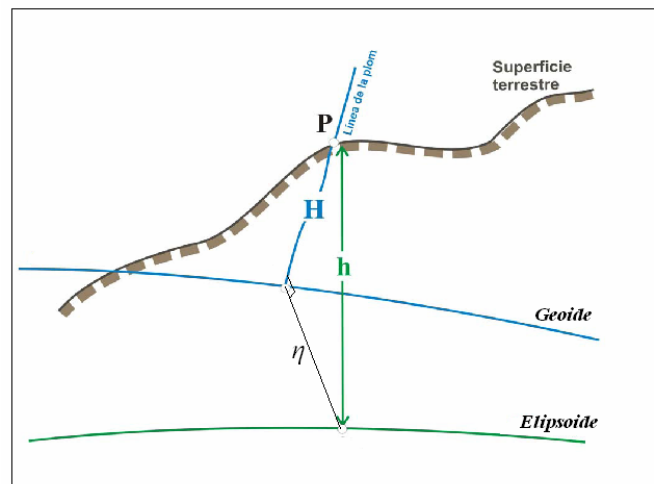
$$H = h - \eta \quad (2.34)$$

Donde:

$h$  es la altura elipsoidal.

$H$  es la altura ortométrica.

$\eta$  es la Ondulación Geoidal, la cual es separación entre el geoide y el elipsoide cuya superficie es equipotencial.



**Figura. 2.12. Alturas Ortométricas.**

Para calcular alturas ortométricas, los números geopotenciales son divididos por el valor medio de la gravedad ( $g'$ ) entre el punto evaluado y el geoide, mediante la siguiente ecuación:



$$H = \frac{C}{g'} \quad (2.35)$$

Donde:

$C$  son los números geopotenciales.

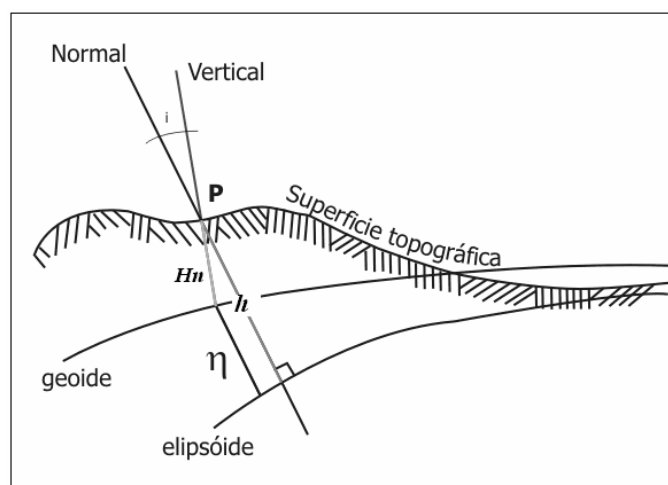
El inconveniente que presentan estas alturas se basa en que no es posible conocer el valor de  $g'$ . Normalmente, la gravedad real es medida sobre la superficie topográfica y continuarla, hacia abajo, a lo largo de la línea de la plomada, requiere de la formulación de modelos sobre la distribución de densidad de las masas terrestres. De esta manera, los valores de altura ortométrica calculados dependen de las hipótesis utilizadas en el modelamiento de la densidad. Los métodos más comunes en la determinación de alturas ortométricas corresponden con las hipótesis de *Helmert*, *Vignal*, *Baranov* y *Aire Libre* (Free Air), (Leiva, 2003).

Por esta razón se considera para fines prácticos que la altura ortométrica  $H$  sea aproximadamente igual a la altura nivelada  $H_n$ :

$$H \cong H_n \quad (2.36)$$

Con lo cual se puede sustituir  $H$  por  $H_n$  según la ecuación (2.36), y se obtiene la ecuación (2.37), con lo que se puede calcular la altura elipsoidal (figura 2.13.):

$$h \cong H_n + \eta \quad (2.37)$$



**Figura. 2.13. Relación entre el Geoide, el Elipsoide y la Superficie Topográfica.**

Fuente: Leiva, 2003.

La ecuación (2.37) se utiliza para calcular  $h$  de las coordenadas en *PSAD56* en base a  $Hn$  de cada punto y  $\eta$  que se calcula con los Modelos Geopotenciales (referidos al WGS84) como el *EGM96* y *EGM08*, considerando que la  $\eta$  del *PSAD56* sea igual a la  $\eta$  del *WGS84* para poder utilizar los modelos Geopotenciales anteriormente mencionados.

## 2.7 CONVERSIÓN DE COORDENADAS ENTRE SISTEMAS DE REFERENCIA

### 2.7.1 Conversión de Coordenadas Geodésicas a Coordenadas Cartesianas

Las coordenadas geodésicas son definidas en base a la superficie elipsoidal, que elige como líneas de referencia a los meridianos y paralelos; como plano fundamental el del ecuador y como plano secundario, el plano meridiano que contiene al meridiano de Greenwich origen, (Curso Avanzado de Sistemas de Posicionamiento por Satélite, 2008), figura 2.14.

Siendo:

**Latitud**  $\varphi$ , tomando como referencia la normal  $N$  al elipsoide que pasa por el punto genérico  $P$ , la latitud es el ángulo formado por  $N$  y el plano del ecuador.

**Longitud**  $\lambda$ , es el ángulo que forma el meridiano que contiene a  $P$  con el meridiano de Greenwich origen.

**Altura elipsoidal**  $h$ .

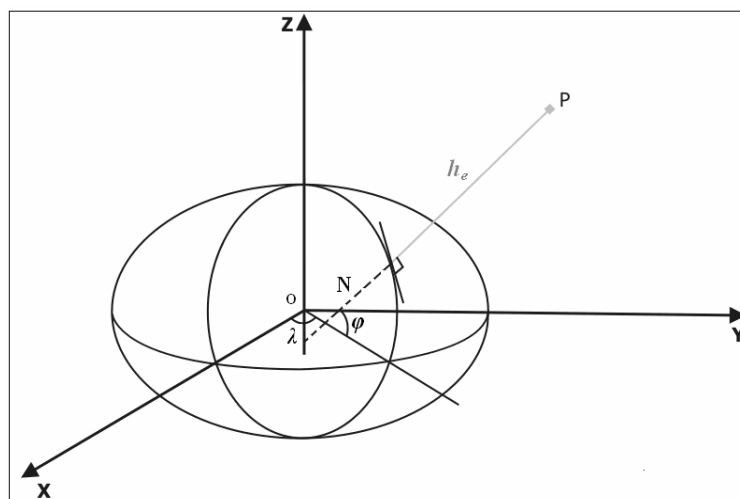


Figura. 2.14. Coordenadas Geodésicas en el elipsoide.

Fuente: Leiva, 2003.

Para un elipsoide con semieje mayor  $a$  y excentricidad  $e_1$  las coordenadas cartesianas pueden ser calculadas a partir de las siguientes ecuaciones:

$$X = (N + h) \cdot \cos \lambda \cos \varphi \quad (2.38)$$

$$Y = (N + h) \cdot \text{sen} \lambda \cos \varphi \quad (2.39)$$

$$Z = [N \cdot (1 - e_1^2) + h] \cdot \text{sen} \varphi \quad (2.40)$$

Donde:

$e_1$  es la primera excentricidad, igual a:

$$e_1^2 = 2f - f^2 \quad (2.41)$$

$N$  es el radio de curvatura de la primera vertical que es igual a:

$$N = \frac{a}{\sqrt{(1 - e_1^2 \cdot \text{sen}^2 \varphi)}} \quad (2.42)$$

### 2.7.2 Conversión de Coordenadas Cartesianas a Coordenadas Geodésicas

Las coordenadas cartesianas geocéntricas se definen por: el punto  $O$ , donde se cruzan tres ejes perpendiculares entre sí, se encuentra ubicado en el centro de la Tierra, el eje  $X$  se encuentra sobre el ecuador en dirección del meridiano de Greenwich, y el eje  $Z$  coincide con el eje de rotación de la Tierra (Ver figura 2.15.).

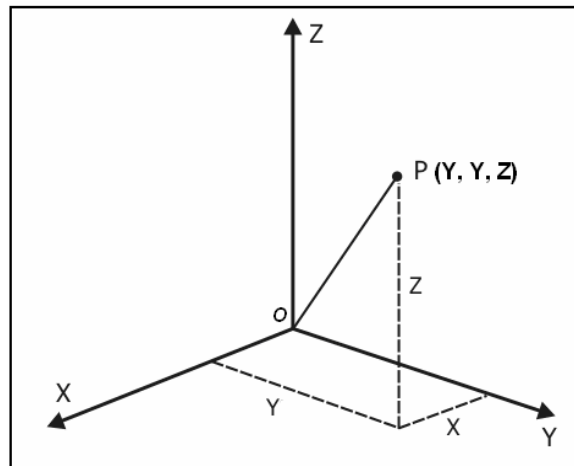


Figura. 2.15. Coordenadas Geodésicas en el elipsoide.

Para realizar la transformación a coordenadas geodésicas son necesarias las siguientes ecuaciones:

$$\varphi = \tan^{-1} \left( \frac{Z + e_2^2 \cdot b \cdot \text{sen}^3 \theta}{p - e_1^2 \cdot a \cdot \cos^3 \theta} \right) \quad (2.43)$$

Donde  $e_2$  es la segunda excentricidad que es calculada por la ecuación (2.44).

$$e_2^2 = \frac{a^2 - b^2}{b^2} \quad (2.44)$$

$$b = a \cdot (1 - f) \quad (2.45)$$

Y  $\theta$  es una cantidad auxiliar:

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{z \cdot a}{p \cdot b} \right) \quad (2.46)$$

$$\lambda = \tan^{-1} \left( \frac{Y}{X} \right) \quad (2.47)$$

$$h_e = \left( \frac{p}{\cos \varphi} \right) - N \quad (2.48)$$

Donde  $p$  resulta de:

$$p = \sqrt{X^2 + Y^2} \quad (2.49)$$

## 2.8 MODELOS GEOPOTENCIALES

El geoide se define como la superficie equipotencial del campo de gravedad terrestre que mejor se aproxima al nivel medio de los mares, libre de perturbaciones, extendida en forma continua a través de los continentes. Dado que la mayor parte de la Tierra está cubierta aproximadamente un 70% por mares y océanos, la superficie de referencia por excelencia para medir altitudes es el nivel medio del mar, por esta razón el Geoide es adecuado para medir diferentes alturas. Además, este nivel medio es una mejor aproximación a la forma real de la Tierra vista desde el espacio.

El nivel medio del mar, a su vez, depende de las irregularidades en el campo gravitatorio de la Tierra que alteran su posición. El agua de los océanos del globo busca estar en equilibrio, y por ello tiende a seguir una superficie gravitatoria equipotencial, (Salazar, 2008).

La estimación del Geoide requiere de la formulación de hipótesis sobre la distribución de las masas internas del planeta. Tiene una forma irregular que no permite el cálculo de coordenadas en el plano (latitud y longitud), por esta razón se creó el elipsoide, que es una figura matemática que se acopla a la forma de la Tierra y permite calcular las coordenadas anteriormente mencionadas.

La definición del geoide se complica por la deformación permanente de la Tierra causada por la presencia del Sol y la Luna. La consideración de estos efectos permanentes de las mareas ha llevado a la definición de tres tipos de geoides y tres tipos de elipsoides de referencia (Lemoine, 1998):

***Tide-Free:*** Este geoide existiría para una marea libre directa e indirectamente de los efectos del Sol y la Luna.

***Tide-Mean:*** Este geoide podría existir en la presencia del Sol y la Luna.

***Tide-Zero:*** Este geoide existiría si se eliminan los efectos permanentes directos del Sol y la Luna, pero el componente de efecto indirecto relacionado con la deformación elástica de la Tierra se mantiene.

Conceptualmente, habría definiciones similares de un elipsoide que se asocia con el tipo correspondiente de geoide. Podríamos tener un elipsoide *Tide-Free*, un elipsoide *Tide-Mean*, o un elipsoide *Tide-Zero*, los cuales tendrán un semieje mayor  $a$  y un achatamiento  $f$  asociados con cada tipo de elipsoide.

Si se considera un elipsoide de referencia fijo por  $a$  y  $f$ , se tendrían diferentes ondulaciones geoidales en función del tipo de la ondulación del geoide (*tide free*, *mean* o *zero*):

$N_m$  es la ondulación media del geoide;

$N_n$  es la ondulación geoidal libre;

$N_z$  es la ondulación cero del geoide.

Entonces tenemos:

$$N_m - N_z = (9.9 - 29.6) \sin^2 \varphi \text{ (cm)} \quad (2.50)$$

$$N_z - N_n = k (9.9 - 29.6 \sin^2 \varphi) \text{ (cm)} \quad (2.51)$$

$$N_m - N_n = (1+k) (9.9 - 29.6 \sin^2 \varphi) \text{ (cm)} \quad (2.52)$$

Siendo  $k$  un número general que toma el valor de 0.3.

### 2.8.1 Earth Gravitational Model 1996 - EGM96

El *EGM96* es un modelo de Geopotencial de la Tierra que consta de coeficientes armónicos esféricos que completan el grado y el orden de 360. Es una solución compuesta, que consiste en: una solución combinada para el grado y orden 70; un bloque diagonal desde el grado 71 a 359; y la solución cuadrática al grado 360, (figura 2.16.).

Este modelo es el resultado de la colaboración de la *NASA Goddard Space Flight Center* y de la *Ohio State University*. Se lo calculó en base al elipsoide *WGS84*, cuyas constantes (ver tabla 2.6) se utilizan para definir la geometría y el ámbito normal del elipsoide de referencia para el cálculo de las alturas del geoide, además de la *Constante Gravitacional GM* y la *Velocidad Angular de la Tierra w*:

$$GM = 3.986004418 \times 10^{14} \text{ m}^3 \text{ s}^{-2} \quad (2.53)$$

$$w = 7292115 \times 10^{-11} \text{ rad/seg} \quad (2.54)$$

Los valores de la ondulación del geoide se calculan aplicando un término de corrección que convierte una anomalía de pseudo-altura calculada en un punto en el elipsoide a un valor de ondulación del geoide. Además, el término de corrección *Zero Degree* de -0,53 m, se añadirá al resultado de la ondulación del geoide con respecto al elipsoide *WGS84*. El valor de -0,53 m se basa en *a* y *f*, de un ideal elipsoide en el sistema de *Tide-Free*.

En 1983 la *International Association of Geodesy* - IAG en la Asamblea General en Hamburgo, se aprobó en la resolución (16) que "... el efecto indirecto debido a la obtención permanente de la Tierra se retira". Esta recomendación sugiere que el geoide apropiado a considerar es el *Tide-Zero* con la ondulación del geoide correspondiente a *Zero*.

Una aplicación importante de la ondulación del geoide  $\eta$  es la determinación de la altura ortométrica *H* de un punto mediante la altura elipsoidal *h* (ecuación (2.34)). Para nuestro caso, estas ondulaciones servirán para convertir coordenadas geodésicas de *PSAD56* a cartesianas.

El valor de *H* será dada con respecto al geoide cuyas ondulaciones, con respecto a un elipsoide específico, se dan por  $\eta$ . Ahora está claro que *H* y  $\eta$  se deben dar en un mismo sistema de mareas constantes. Aunque IAG Resolución (16) se recomienda un sistema

*Tide-Zero*, una encuesta informal de varios grupos involucrados con la determinación de la posición de alturas, reportan que se han utilizado el sistema *Tide-Free*. Aunque la diferencia entre la altura *Tide-Free* y *Tide-Zero* del sistema de mareas es del orden de 10 cm. Es importante para fines de coherencia que  $H$  y  $\eta$  se dicten en el mismo sistema. En consecuencia, una decisión fue adoptada por el proyecto conjunto que el sistema de la marea preferida sería la marea *Tide-Free* y que las ondulaciones del geoide estarán dadas por *Tide-Free*, (Lemoine, 1998); (<http://cddis.nasa.gov>).

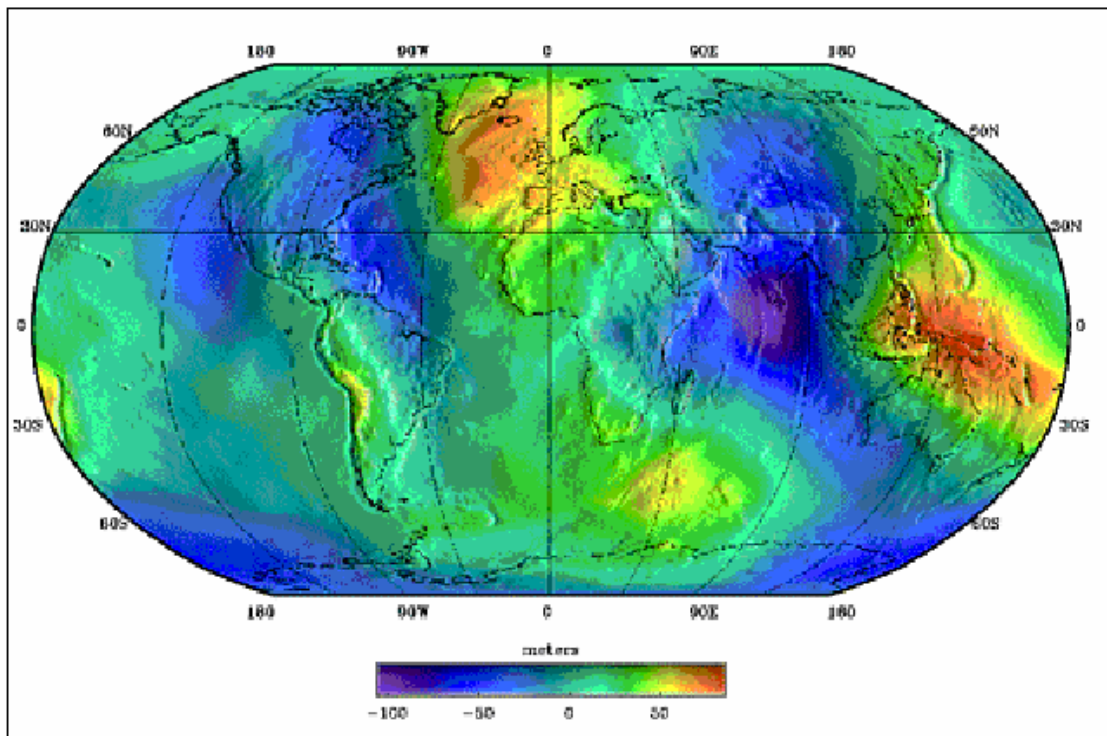


Figura. 2.16. Modelo Geopotencial EGM96.

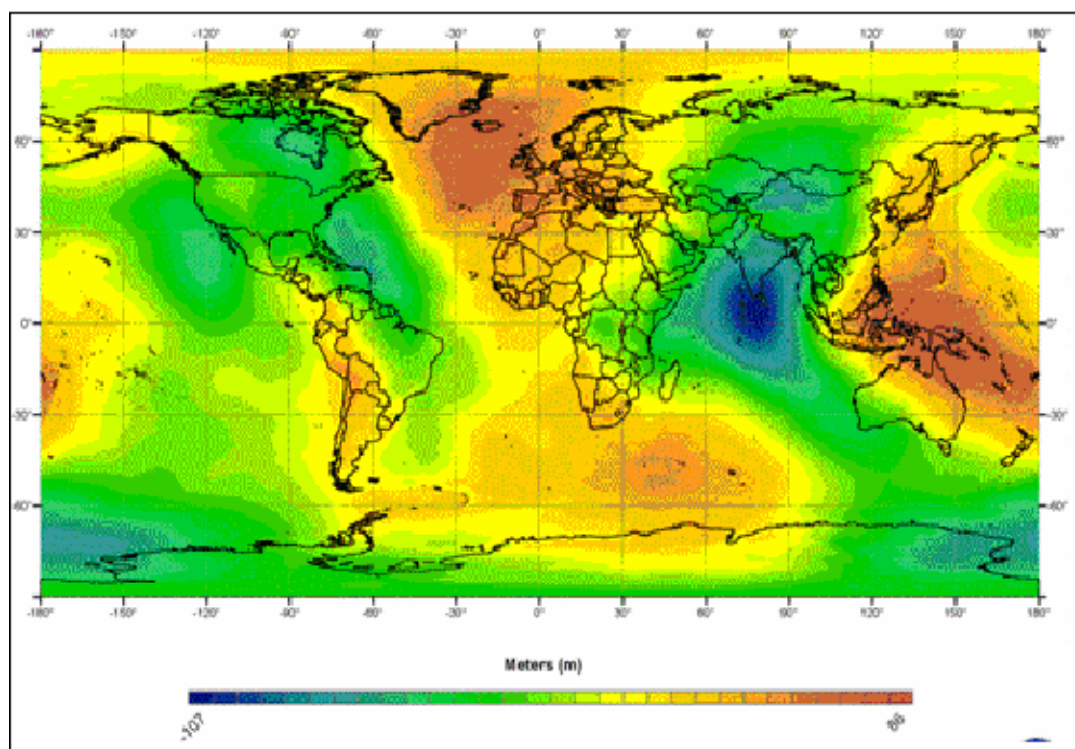
Fuente: <http://cddis.nasa.gov>.

### 2.8.2 Earth Gravitational Model 2008 - EGM08

El Modelo Gravitacional de la Tierra *EGM08*, ha sido publicado por la *NGA*, este modelo es completo al grado esférico armónico y al orden 2159, y contiene coeficientes adicionales que se extienden al grado 2190 y al orden 2159, (figura 2.17).

Al igual que el *EGM96*, el *EGM08* se basa en las constantes del *WGS84* para definir el elipsoide de referencia, y el correspondiente campo de gravedad normal, a la que se hace referencia a las ondulaciones del geoide.

Este modelo también asume el sistema *Tide-Free* y sus ondulaciones geoidales estarán dadas por *Tide-Free*. El término de corrección *Zero Degree* del *EGM08* es de  $-0,41$  m, el cual se añadirá al resultado de las ondulaciones geoidales que han sido calculadas a partir del *EGM08* con las anomalías de alturas para las correcciones del modelo de ondulaciones geoidales, (Pavlis, 2008); (<http://earth-info.nga.mil>).



**Figura. 2.17. Modelo Geopotencial EGM08.**

Fuente: <http://earth-info.nga.mil>.



## CAPÍTULO 3

### ANÁLISIS Y RESULTADOS

#### 3.1 SIETE PARÁMETROS DE TRANSFORMACIÓN ENTRE SISTEMAS PSAD56 Y SIRGAS95

Leiva (2003) realizó el cálculo de los parámetros oficiales de transformación con el modelo matemático de transformación de Helmert, entre PSAD56 y SIRGAS95 (Ver tabla 3.1), tomando 42 puntos comunes entre ambos sistemas. Para realizar la transformación entre dichos sistemas, se utilizó la ecuación (2.5).

**Tabla. 3.1. Siete parámetros de Transformación del Sistema PSAD56 al Sistema SIRGAS95.**

7 parámetros de Transformación de PSAD56 a SIRGAS95.						
Traslación			Rotación			Diferencia de Escala
$T_x$ (m)	$T_y$ (m)	$T_z$ (m)	$R_x$ (seg)	$R_y$ (seg)	$R_z$ (seg)	$\delta$ (ppb)
-60.310	245.935	31.008	-12.324	-3.755	7.370	0.447

Fuente: Leiva, 2003

En el presente proyecto, se realizó otro cálculo de parámetros utilizando 84 puntos comunes entre PSAD56 y SIRGAS95, tomando en cuenta los puntos que formaron parte de la transformación de los parámetros oficiales. De este conjunto 68 sirvieron para el cálculo en sí de los nuevos parámetros de transformación, y los 16 puntos restantes que se encuentran distribuidos en toda el área de estudio fueron utilizados como puntos de control para evaluar los nuevos parámetros.

En las tablas 3.2 y 3.3, se muestran los puntos que fueron utilizados para calcular y para evaluar los nuevos parámetros y en las figuras 3.1. y 3.2, se muestran la ubicación geográfica de los mismos.

**Tabla. 3.2. Puntos para el Cálculo de los nuevos Parámetros entre PSAD56 y SIRGAS 95, (coordenadas aproximadas).**

<b>Puntos para el Cálculo de los nuevos Parámetros en coordenadas PSAD56</b>			
<b>Código</b>	<b>Latitud <math>\varphi</math> (°)</b>	<b>Longitud <math>\lambda</math> (°)</b>	<b>Altura Nivelada <math>H_n</math> (m)</b>
C001	-2.3263	-80.8925	55
C002	-0.0333	-78.4780	3515
C003	0.0035	-78.4263	2636
C004	0.7563	-77.9722	4218
C005	-3.0045	-79.0409	2853
C006	-0.2118	-78.4915	2893
C007	-0.2595	-78.4173	3189
C008	-0.8106	-78.6244	2914
C009	-0.0701	-78.5052	3112
C010	0.1285	-78.9963	922
C011	-0.9599	-80.2766	551
C012	-0.2671	-78.5067	3185
C013	-1.4344	-78.5412	3878
C014	-3.1380	-79.5343	3907
C015	-0.2258	-78.5162	3015
C016	-0.4569	-77.3076	708
C017	-0.3231	-76.9104	327
C018	-0.2340	-78.5550	3570
C019	-2.6879	-78.7293	3634
C020	-1.9042	-78.6085	3700
C021	-0.9333	-80.6689	22
C022	-3.9856	-79.1970	2117
C023	-1.3642	-79.9064	38
C024	-2.3554	-79.5306	153
C025	0.0117	-77.3201	1064
C026	-0.0764	-78.2069	4076
C027	-2.0827	-79.1297	2494
C028	-1.4361	-78.0329	1402
C029	-1.1689	-77.8151	1044
C030	-3.2553	-79.9565	38
C031	-2.1524	-79.8859	22
C032	-1.7756	-79.4618	75
C033	0.9590	-79.6715	267
C034	-0.4322	-80.1786	678
C035	-0.3238	-79.6941	353
C036	-1.9375	-80.6787	137
C037	-2.4714	-80.4653	427
C038	-2.2179	-80.9284	52
C039	-0.3245	-78.5219	3128

<b>Código</b>	<b>Latitud <math>\varphi</math> (°)</b>	<b>Longitud <math>\lambda</math> (°)</b>	<b>Altura Nivelada <math>H_n</math> (m)</b>
C040	-1.3563	-79.0667	3564
C041	-0.5253	-78.6459	4277
C042	-0.9677	-78.6034	2764
C043	-4.0412	-79.1989	2250
C044	-2.1567	-78.8869	3780
C045	-1.5787	-78.7662	3513
C046	-1.1913	-78.4943	3533
C047	-0.9550	-78.5015	4026
C048	-0.6824	-78.5028	3834
C049	-0.5779	-78.6557	3745
C050	-3.2960	-79.8092	79
C051	-3.7496	-79.8788	1136
C052	-2.1662	-79.9521	376
C053	-2.1840	-80.9901	93
C054	-0.8390	-80.1074	358
C055	-0.6490	-79.3201	655
C056	0.7827	-80.0292	290
C057	1.1508	-78.7369	157
C058	0.0165	-78.2057	2827
C059	0.4750	-77.9625	2893
C060	-0.2925	-79.0848	1170
C061	0.5481	-78.0901	2607
C062	0.5107	-78.1733	2264
C063	0.0869	-78.2408	3452
C064	0.8294	-77.7989	3122
C065	-0.2216	-79.0850	957
C066	0.4826	-77.8693	2741
C067	0.2417	-78.4437	3613
C068	0.1193	-79.8305	735

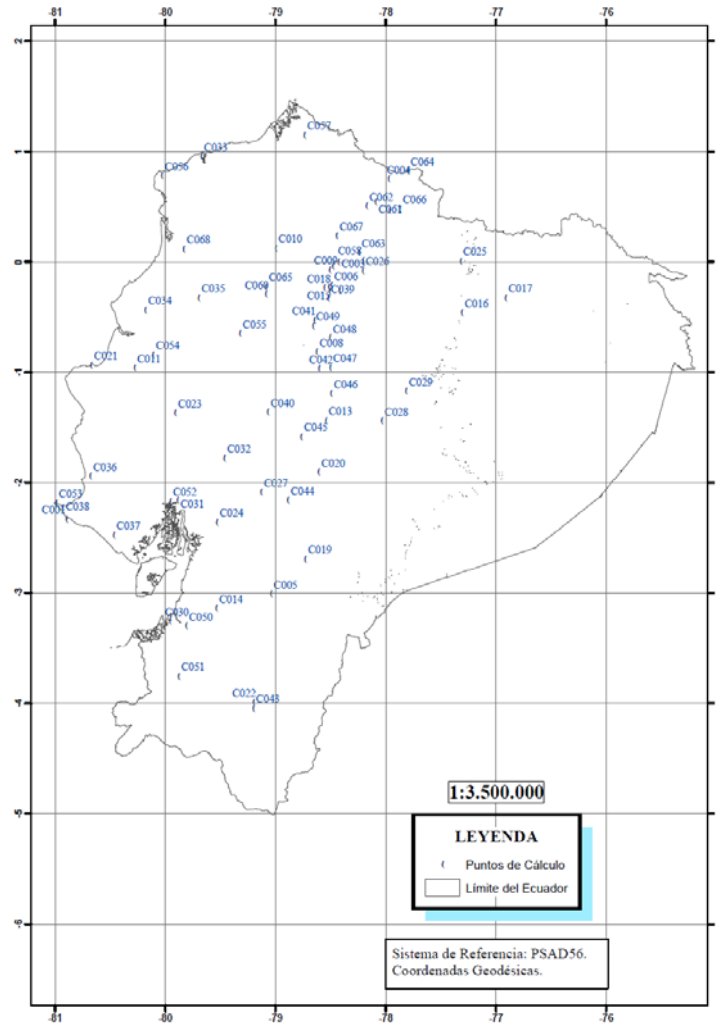
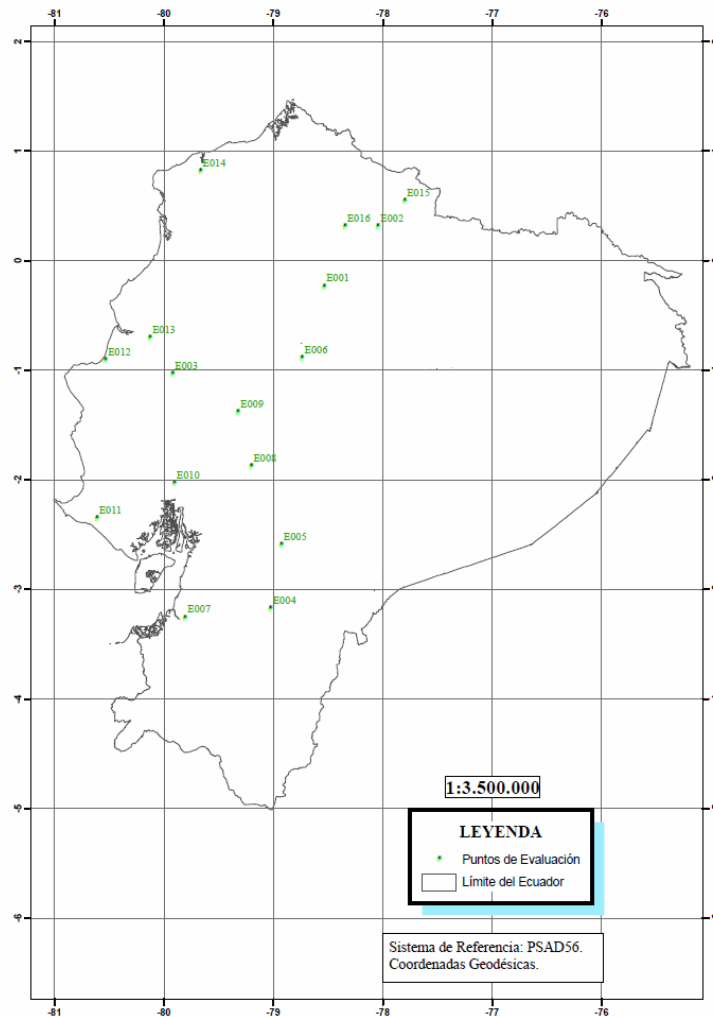


Figura. 3.1. Ubicación Geográfica en el sistema PSAD56 de los puntos para el Cálculo de los nuevos Parámetros entre PSAD56 y SIRGAS 95.

Tabla. 3.3. Puntos de Control para la Evaluación de los nuevos Parámetros entre PSAD56 y SIRGAS95, (coordenadas aproximadas).

Puntos de Control para la Evaluación de los nuevos Parámetros en coordenadas PSAD56			
Código	Latitud $\varphi$ (°)	Longitud $\lambda$ (°)	Altura Nivelada $H_n$ (m)
E001	-0.2412	-78.5388	2924
E002	0.3077	-78.0441	3836
E003	-1.0372	-79.9218	298
E004	-3.1786	-79.0256	3488
E005	-2.5960	-78.9265	3818
E006	-0.8915	-78.7380	3922
E007	-3.2618	-79.8061	151
E008	-1.8802	-79.2031	2030
E009	-1.3894	-79.3222	1155
E010	-2.0330	-79.9044	141

Código	Latitud $\varphi$ (°)	Longitud $\lambda$ (°)	Altura Nivelada $H_n$ (m)
E011	-2.3576	-80.6132	322
E012	-0.9134	-80.5340	287
E013	-0.7079	-80.1262	150
E014	0.8113	-79.6656	486
E015	0.5420	-77.8004	2842
E016	0.3101	-78.3462	3377



**Figura. 3.2. Ubicación Geográfica en el sistema PSAD56 de los Puntos de Control para la Evaluación de los nuevos Parámetros entre PSAD56 y SIRGAS 95.**

### 3.2 CÁLCULO DE LOS NUEVOS PARÁMETROS DE TRANSFORMACIÓN ENTRE PSAD56 Y SIRGAS95

Se realizó un nuevo cálculo de los parámetros de transformación entre el Sistema Clásico PSAD56 y el SIRGAS95, con el fin de obtener una mejor precisión en el cálculo de coordenadas.

Se tomó en cuenta 84 puntos comunes entre los Sistemas anteriormente mencionados y se realizó las conversiones de coordenadas geodésicas a coordenadas cartesianas, utilizando los Modelos Geopotenciales para determinar la ondulación geoidal  $\eta$  y calcular la  $h$  de las coordenadas en PSAD56 con la ecuación (2.34). Como resultado se obtuvo 84 puntos en coordenadas cartesianas con las  $h$  calculadas a partir de las  $\eta$  determinadas con el EGM96 y 84 puntos en coordenadas cartesianas con las  $h$  calculadas a partir de las  $\eta$  determinadas con el EGM08, con esto se pudo realizar dos cálculos de los nuevos 7 parámetros de transformación (ver figura 3.3).

Se escogieron 68 puntos en en coordenadas cartesianas con las  $h$  calculadas a partir de las  $\eta$  determinadas con el EGM96 y 68 puntos en coordenadas cartesianas con las  $h$  calculadas a partir de las  $\eta$  determinadas con el EGM08, los cuales se encuentran dispersos en el área de estudio para calcular los nuevos parámetros de transformación mediante un programa realizado en *Matlab v. 7.0* y se determinó la varianza a posteriori (ver ecuación (2.33)) de cada conjunto de parámetros (ver tabla 3.4.).

**Tabla. 3.4. Varianza a posteriori de los nuevos parámetros.**

Varianza a posteriori ( $\hat{\sigma}_o^2$ )	
EGM96	EGM08
0.89	0.95

### 3.2.1 Prueba Chi Cuadrado $X^2$

La prueba de  $X^2$  tiene como objetivos evaluar la bondad del ajuste de un conjunto de datos a una determinada distribución y aceptar o rechazar hipótesis que se plantean en determinados estudios.

En el presente estudio se utilizó la prueba  $X^2$  al 95% de confianza para determinar si la varianza a priori  $\sigma_o^2$  es igual o difiere de la varianza a posteriori  $\hat{\sigma}_o^2$ , (ver Sección 2.3.3).

Se plantea la hipótesis básica:

$$H_o : \sigma_o^2 = \hat{\sigma}_o^2 \quad (3.1)$$

Y la hipótesis alternativa:

$$H_A : \sigma_o^2 \neq \hat{\sigma}_o^2 \quad (3.2)$$

Se calcula  $X^2$  mediante la siguiente ecuación:

$$X^2 = \frac{\hat{\sigma}_o^2}{\sigma_o^2} S = \frac{V^T P V}{\sigma_o^2} \tag{3.3}$$

Donde  $S$  representa los grados de libertad (ver ecuación (2.33)).

La prueba de  $X^2$  aceptó la hipótesis básica planteada tanto para la varianza a posteriori de los parámetros calculados con EGM96 y EGM08, por lo tanto no existen principalmente errores groseros en el ajuste de los parámetros de transformación.

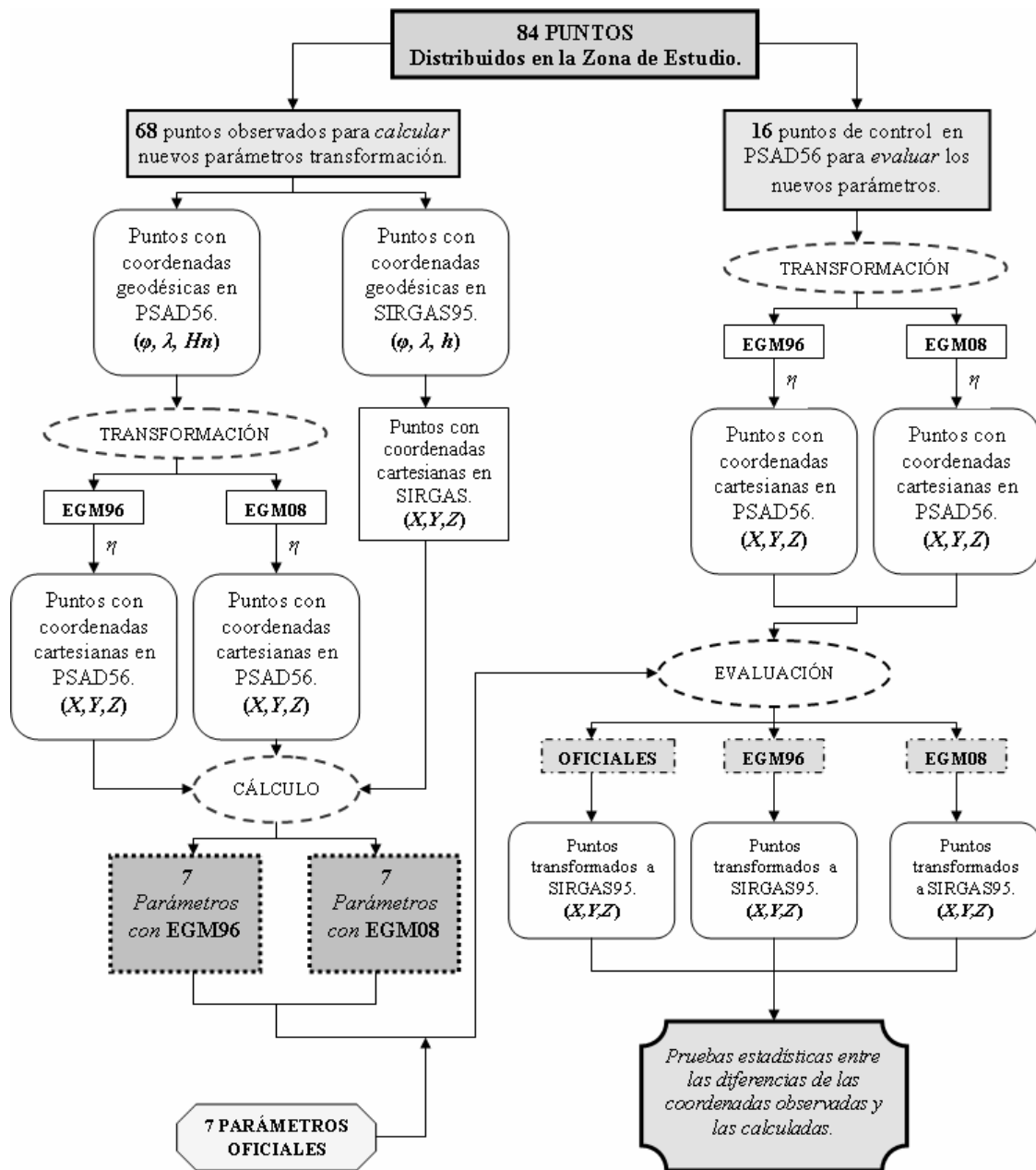


Figura. 3.3. Proceso del cálculo y evaluación de los nuevos parámetros de transformación entre PSAD56 y SIRGAS95.

### 3.3 VALIDACIÓN DE LOS NUEVOS PARÁMETROS DE TRANSFORMACIÓN ENTRE PSAD56 Y SIRGAS95

Una vez obtenidos los nuevos parámetros de transformación fue necesaria la validación de los mismos, la cual se la realizó con los 16 puntos restantes de los 84 comunes entre sistemas. Estos puntos fueron utilizados como puntos de control para evaluar los nuevos parámetros tanto del EGM96 como del EGM08, dando como resultados coordenadas calculadas en SIRGAS95 con los nuevos parámetros. Se comparó mediante diferencias las coordenadas calculadas y observadas en SIRGAS95 con los parámetros oficiales y los recientemente calculados (ver figura 3.3).

#### 3.3.1 Pruebas Estadísticas

Las tablas 3.5 y 3.6 contienen las diferencias obtenidas entre las coordenadas cartesianas calculadas con los parámetros oficiales a SIRGAS95 en base a las alturas elipsoidales determinadas con las ondulaciones geoidales de los Modelos Geopotenciales EGM96 EGM08, y las coordenadas observadas en el mismo sistema.

**Tabla. 3.5. Diferencias entre las coordenadas cartesianas calculadas en base a  $h$  determinada con  $\eta$  del EGM96 con los parámetros oficiales y las coordenadas observadas en SIRGAS95.**

<b>Diferencia de coordenadas cartesianas en SIRGAS95.</b>			
<b>dif (X) (m)</b>	<b>dif (Y) (m)</b>	<b>dif (Z) (m)</b>	<b>error (X,Y,Z) (m)</b>
-0.077	0.337	0.316	0.468
0.917	0.488	0.128	1.046
-0.347	1.257	-0.231	1.324
-0.043	0.759	0.739	1.060
-0.871	-0.121	0.129	0.889
-1.229	-0.465	0.029	1.315
0.776	-0.074	1.055	1.312
-1.672	-1.098	0.994	2.233
-0.591	-2.040	0.920	2.315
0.582	0.164	-0.722	0.941
0.388	-0.794	-0.326	0.942
-0.702	1.351	-0.747	1.696
-0.665	-0.715	-0.948	1.361
0.882	1.386	-0.290	1.669
1.138	0.822	-0.481	1.484
0.982	-0.037	0.416	1.067



**Tabla. 3.6. Diferencias entre las coordenadas cartesianas calculadas en base a  $h$  determinada con  $\eta$  del EGM08 con los parámetros oficiales y las coordenadas observadas en SIRGAS95.**

<b>Diferencia de coordenadas cartesianas en SIRGAS95.</b>			
<b>dif (X) (m)</b>	<b>dif (Y) (m)</b>	<b>dif (Z) (m)</b>	<b>error (X,Y,Z) (m)</b>
-0.039	0.154	0.315	0.353
1.233	-1.007	0.136	1.598
-0.237	0.638	-0.243	0.722
-0.471	2.967	0.864	3.126
-1.341	2.282	0.240	2.658
-1.534	1.065	0.054	1.868
0.574	1.050	1.120	1.639
-1.927	0.240	1.039	2.202
-0.902	-0.390	0.961	1.375
0.504	0.602	-0.706	1.056
0.221	0.220	-0.284	0.422
-0.713	1.419	-0.746	1.754
-0.660	-0.747	-0.949	1.376
0.879	1.401	-0.291	1.679
1.346	-0.142	-0.472	1.434
1.254	-1.358	0.423	1.896

La tabla 3.7, muestra las diferencias entre las coordenadas cartesianas calculadas con los nuevos parámetros en base a las alturas elipsoidales determinadas con las ondulaciones geoidales del EGM96 a SIRGAS95 y las coordenadas observadas en el mismo sistema.

**Tabla. 3.7. Diferencias entre las coordenadas cartesianas calculadas con los nuevos parámetros en base a las alturas elipsoidales determinadas con las ondulaciones geoidales del EGM96 y las coordenadas observadas en SIRGAS95.**

<b>Diferencia de coordenadas cartesianas en SIRGAS95.</b>			
<b>dif (X) (m)</b>	<b>dif (Y) (m)</b>	<b>dif (Z) (m)</b>	<b>error (X,Y,Z) (m)</b>
-0.227	0.674	0.361	0.798
0.763	0.777	0.140	1.099
-0.467	1.682	-0.122	1.750
-0.261	1.275	0.928	1.598
-1.077	0.360	0.289	1.171
-1.392	-0.085	0.107	1.399
0.587	0.470	1.265	1.471
-1.845	-0.648	1.127	2.257
-0.745	-1.614	1.033	2.056
0.432	0.644	-0.567	0.961
0.257	-0.274	-0.142	0.402

dif (X) (m)	dif (Y) (m)	dif (Z) (m)	error (X,Y,Z) (m)
-0.794	1.789	-0.630	2.056
-0.767	-0.302	-0.849	1.184
0.808	1.699	-0.268	1.900
0.983	1.089	-0.483	1.545
0.841	0.262	0.434	0.982

Se observa en la tabla 3.8 las diferencias entre las coordenadas cartesianas calculadas con los nuevos parámetros tomando como base las alturas elipsoidales determinadas con las ondulaciones geoidales del EGM08 a SIRGAS95 y las coordenadas observadas en SIRGAS95.

**Tabla. 3.8. Diferencias entre las coordenadas cartesianas calculadas con los nuevos parámetros en base a las alturas elipsoidales determinadas con las ondulaciones geoidales del EGM08 y las coordenadas observadas en SIRGAS95.**

Diferencia de coordenadas cartesianas en SIRGAS95.			
dif (X) (m)	dif (Y) (m)	dif (Z) (m)	error (X,Y,Z) (m)
-0.145	0.259	0.362	0.468
1.098	-0.763	0.151	1.346
-0.307	0.749	-0.150	0.823
-0.344	1.656	0.980	1.955
-1.265	1.250	0.352	1.813
-1.597	0.884	0.131	1.830
0.700	-0.061	1.240	1.425
-1.915	-0.323	1.140	2.252
-0.932	-0.655	1.052	1.551
0.518	0.176	-0.595	0.808
0.249	-0.158	-0.156	0.334
-0.805	1.786	-0.646	2.063
-0.760	-0.396	-0.861	1.215
0.675	2.420	-0.263	2.526
1.205	0.152	-0.480	1.306
1.112	-1.018	0.447	1.572

Con los resultados de la tabla 3.5 a la 3.8 se calculó la *media aritmética*, el *valor mínimo*, el *valor máximo* y la *desviación estándar* para determinar cuales de los parámetros (los oficiales y los nuevos) se acoplan mejor a la zona de estudio.

En la tabla 3.9, se puede apreciar los resultados obtenidos con las pruebas estadísticas. Realizando un análisis, se demuestra que las diferencias entre coordenadas calculadas y observadas están en el orden de los centímetros.

Los resultados obtenidos con los parámetros calculados en base a las alturas elipsoidales determinadas con las ondulaciones geoidales del EGM96 no tienen una diferencia significativa comparada con los resultados dados con los nuevos parámetros (en el orden de los milímetros).

Lo contrario se dio con los resultados de los parámetros calculados en base a las alturas elipsoidales determinadas con las ondulaciones geoidales del EGM08. Por lo tanto, se concluye, que los nuevos parámetros calculados en base a las alturas elipsoidales determinadas con las ondulaciones geoidales del EGM96 (ver tabla 3.10) dan mejores resultados.

**Tabla. 3.9. Resultados de las diferencias obtenidas en las coordenadas cartesianas calculadas con los nuevos parámetros.**

<b>Diferencias obtenidas en las coordenadas cartesianas (EGM96) calculadas con los parámetros oficiales</b>				
	<b>dif (X) (m)</b>	<b>dif (Y) (m)</b>	<b>dif (Z) (m)</b>	<b>error (X,Y,Z) (m)</b>
Media aritmética	-0.033	0.076	0.061	1.320
Mínimo	-1.672	-2.040	-0.948	0.468
Máximo	1.138	1.386	1.055	2.315
Desviación estándar	0.873	0.953	0.643	0.484
<b>Diferencias obtenidas en las coordenadas cartesianas (EGM08) calculadas con los parámetros oficiales</b>				
	<b>dif (X) (m)</b>	<b>dif (Y) (m)</b>	<b>dif (Z) (m)</b>	<b>error (X,Y,Z) (m)</b>
Media aritmética	-0.113	0.525	0.091	1.572
Mínimo	-1.927	-1.358	-0.949	0.353
Máximo	1.346	2.967	1.120	3.126
Desviación estándar	1.033	1.164	0.665	0.736
<b>Diferencias obtenidas en las coordenadas cartesianas (EGM96) calculadas con los nuevos parámetros (EGM96)</b>				
	<b>dif (X) (m)</b>	<b>dif (Y) (m)</b>	<b>dif (Z) (m)</b>	<b>error (X,Y,Z) (m)</b>
Media aritmética	-0.181	0.487	0.164	1.414
Mínimo	-1.845	-1.614	-0.849	0.402
Máximo	0.983	1.789	1.265	2.257
Desviación estándar	0.879	0.932	0.662	0.513

<b>Diferencias obtenidas en las coordenadas cartesianas (EGM08) calculadas con los nuevos parámetros (EGM08)</b>				
	<b>dif (X) (m)</b>	<b>dif (Y) (m)</b>	<b>dif (Z) (m)</b>	<b>error (X,Y,Z) (m)</b>
Media aritmética	-0.157	0.372	0.169	1.455
Mínimo	-1.915	-1.018	-0.861	0.334
Máximo	1.205	2.420	1.240	2.526
Desviación estándar	0.997	0.998	0.673	0.624

**Tabla. 3.10. Siete nuevos parámetros de Transformación del Sistema PSAD56 al Sistema SIRGAS95.**

<b>7 parámetros de Transformación de PSAD56 a SIRGAS95.</b>						
<b>Traslación</b>			<b>Rotación</b>			<b>Diferencia de Escala</b>
$T_x$ (m)	$T_y$ (m)	$T_z$ (m)	$R_x$ (seg)	$R_y$ (seg)	$R_z$ (seg)	$\delta$ (ppb)
-58.569	244.054	34.592	-12.430	-3.812	7.415	0.050

### 3.4. ANÁLISIS DE LOS MODELOS DE VELOCIDADES VEMOS Y VEMOS09

Para poder realizar el análisis que se demuestra a continuación, fue necesario utilizar dos Estaciones que tienen coordenadas de acceso libre ([www.sirgas.org](http://www.sirgas.org)) en SIRGAS95 y SIRGAS2000. En la tabla 3.11 se encuentran las coordenadas geodésicas en SIRGAS95 de las estaciones LATA y ZAMO, las cuales servirán para calcular las velocidades con los programas VELINTER y VMS09, pertenecientes a los modelos VEMOS y VEMOS09, respectivamente.

**Tabla. 3.11. Coordenadas geodésicas en SIRGAS95.**

<b>Estaciones SIRGAS95 en Coordenadas Geodésicas</b>						
<b>ITRF94, época de referencia 1995.4</b>						
<b>Nombre</b>	$\varphi$		$\lambda$		$h$	
LATA	0° 48' 50.2238"	S	78° 37' 35.3903"	O	2941.238	
ZAMO	4° 3' 17.1494"	S	78° 55' 55.1269"	O	926.353	

Fuente: [www.sirgas.org](http://www.sirgas.org)

En las figuras 3.4 y 3.6 se muestra el cálculo de las velocidades con los programas nombrados anteriormente y en las figuras 3.5 y 3.7, se muestran los archivos con las velocidades calculadas.

```

C:\DOCUME~1\AndreaPC\ESCRIT~1\W_VELI-1\VelinterWELINTER.EXE
-----
Interpolation of Station Velocities from a 1° x 1° Geographic Grid

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

Enter coordinates file name for interpolation or k for keyboard: k
Enter file name for output of the interpolated point velocities: estacion
Enter heading text: encabezado
Enter station, phi lambda (stop with station=END): lata, -0.813951 -78.626497
lata -0.814 -78.626 0.0078 0.0093 0.0092 0.0017 0.0078 4
Enter station, phi lambda (stop with station=END): zamo, -4.054764 -78.931979
zamo -4.055 -78.932 0.0056 -0.0001 -0.0001 -0.0004 0.0056 4
Enter station, phi lambda (stop with station=END):
    
```

Figura. 3.4. Cálculo de velocidades con VELINTER.

ESTACION - Bloc de notas

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]

encabezado

Interpolated from velocity Grid in ITRF (rel. SOAM + DGFI02P01 SOAM rotation; v(Lat): SN; v(Long): WE; in m/a)

Station	Latitude	Longitude	v(Lat)	v(Long)	v(X)	v(Y)	v(Z)	no
lata	-0.814	-78.626	0.0078	0.0093	0.0092	0.0017	0.0078	4
zamo	-4.055	-78.932	0.0056	-0.0001	-0.0001	-0.0004	0.0056	4

Figura. 3.5. Archivo generado con las velocidades calculadas con VELINTER.

```

C:\DOCUME~1\AndreaPC\ESCRIT~1\Vemos09VMS2009.EXE
-----
Interpolation of Station Velocities from a 1° x 1° Geographic Grid

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

Enter coordinates file name for interpolation or k for keyboard: k
Enter file name for output of the interpolated point velocities: estacion
Enter heading text: encabezado
Enter station, phi lambda (stop with station=END): lata, -0.813951 -78.626497
lata -0.814 -78.626 0.0095 0.0053 0.0052 0.0009 0.0095 4
Enter station, phi lambda (stop with station=END): zamo, -4.0547637 -78.931979
zamo -4.055 -78.932 0.0068 0.0010 0.0010 0.0011 -0.0003 0.0068 4
Enter station, phi lambda (stop with station=END):
    
```

Figura. 3.6. Cálculo de velocidades con VMS09.

ESTACION - Bloc de notas

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]

encabezado

Interpolated from VEMOS2009 in ITRF2005 (Drewes and Heidbach 2009)

Station	Latitude	Longitude	v(Lat)	v(Long)	v(X)	v(Y)	v(Z)	no
lata	-0.814	-78.626	0.0095	0.0053	0.0052	0.0009	0.0095	4
zamo	-4.055	-78.932	0.0068	0.0010	0.0011	-0.0003	0.0068	4

Figura. 3.7. Archivo generado con las velocidades calculadas con VMS09.

Se realizó una transformación entre ITRFs con los parámetros del ITRF94 que se encuentran en la tabla 2.2. Una vez calculadas las velocidades de cada punto, se cambia la época de referencia de las coordenadas de SIRGAS95 (ITRF94, 1995.4) a SIRGAS2000 (ITRF00, 2000.4), mediante las ecuaciones (2.2), (2.3) y (2.4) que se encuentran en la sección 2.3, utilizando coordenadas cartesianas (ver tabla 3.12).

**Tabla. 3.12. Coordenadas cartesianas en SIRGAS95**

<b>Estaciones SIRGAS95 en Coordenadas Cartesianas</b>			
<b>ITRF94, época de referencia 1995.4</b>			
<b>Nombre</b>	<b>X(m)</b>	<b>Y(m)</b>	<b>Z(m)</b>
LATA	1258247.886	-6255142.665	-90040.863
ZAMO	1221570.888	-6244846.756	-448051.413

### 3.4.1 Resultados

La tabla 3.13 muestra las coordenadas observadas y calculadas a SIRGAS2000. Con estas coordenadas se realizaron diferencias para poder analizar de mejor manera a los modelos de velocidades.

**Tabla. 3.13 Coordenadas cartesianas en SIRGAS2000**

<b>Estaciones SIRGAS2000 en Coordenadas Cartesianas</b>			
<b>ITRF2000, época de referencia 2000.4</b>			
<b>Coordenadas observadas</b>			
<b>Nombre</b>	<b>X(m)</b>	<b>Y(m)</b>	<b>Z(m)</b>
LATA	1258247.909	-6255142.614	-90040.819
ZAMO	1221570.866	-6244846.699	-448051.370
<b>Coordenadas calculadas con VELINTER</b>			
<b>Nombre</b>	<b>X(m)</b>	<b>Y(m)</b>	<b>Z(m)</b>
LATA	1258247.9407	-6255142.6601	-90040.84263
ZAMO	1221570.8961	-6244846.7616	-448051.4042
<b>Coordenadas calculadas con VMS09</b>			
<b>Nombre</b>	<b>X(m)</b>	<b>Y(m)</b>	<b>Z(m)</b>
LATA	1258247.9207	-6255142.6641	-90040.8341
ZAMO	1221570.9021	-6244846.7611	-448051.3702

Las diferencias que se presentan en la tabla 3.14 demuestran que las coordenadas calculadas con las velocidades obtenidas en base al VMS09 son menores que las obtenidas con el VELINTER, con esto se puede concluir que se debe utilizar el VEMOS2009 porque dio mejores resultados.

Tabla. 3.14. Diferencias entre coordenadas en SIRGAS2000.

<b>Diferencias obtenidas entre coordenadas observadas y calculadas (VELINTER) en SIRGAS2000</b>			
<b>Nombre</b>	<b>dif X (m)</b>	<b>dif Y (m)</b>	<b>dif Z (m)</b>
LATA	-0.0317	0.04610	0.0236
ZAMO	0.0301	0.06258	0.0342

<b>Diferencias obtenidas entre coordenadas observadas y calculadas (VMS09) en SIRGAS2000</b>			
<b>Nombre</b>	<b>dif X (m)</b>	<b>dif Y (m)</b>	<b>dif Z (m)</b>
LATA	-0.0117	-0.0501	-0.0151
ZAMO	-0.0361	-0.0621	-0.0002

## CAPÍTULO 4

### AUTOMATIZACIÓN DE LA TRANSFORMACIÓN DE SISTEMAS DE REFERENCIA.

#### 4.1 LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN

Un lenguaje de programación es aquel elemento dentro de la informática que nos permite crear programas mediante un conjunto de instrucciones, operadores y reglas de sintaxis; que pone a disposición del programador para que este pueda comunicarse con los dispositivos hardware y software existentes. Se podría decir que este actúa como un traductor entre el usuario y el equipo, (Definición, 2010), (Microsoft, 2010).

##### 4.1.1 Visual Basic 6.0

*Microsoft Visual Basic 6.0*<sup>19</sup> es un lenguaje de programación desarrollado para dar al usuario herramientas de programación que ofrecen una plataforma gráfica para realizar interfases de una manera sencilla, fácil y automática para que este pueda desarrollar simples o sofisticadas aplicaciones en *Windows*<sup>20</sup> (Windows, 2010).

Visual Basic 6.0 y sus herramientas ofrecen una plataforma gráfica para realizar interfases de una manera sencilla, utilizando características que el sistema operativo Windows

Su terminología proviene de:

*VISUAL*: Este término hace referencia a la parte visual, esto quiere decir que no todo lo que se realiza tiene que estar relacionado con programar o con código.

*BASIC*: (Beginners All-Purpose Symbolic Instruction Code), el lenguaje de los primeros ordenadores de 8 bits.

---

<sup>19</sup> Es un lenguaje de programación creado en 1991 por Alan Cooper para Microsoft.

<sup>20</sup> Windows es una serie de sistemas operativos desarrollados por Microsoft desde 1981, año en que el proyecto se denominaba "Interface Manager".



Visual Basic 6.0 también se lo conoce como un lenguaje de cuarta generación, esto quiere decir que un gran número de tareas se realizan sin escribir código, simplemente con operaciones gráficas realizadas con el ratón sobre la pantalla. También es un lenguaje orientado a objetos, quiere decir que expresa a un programa como un conjunto de objeto, que colabora para realizar tareas. Lo de objetos hace posible la reutilización de partes del código para otros programas.

Este lenguaje está orientado a la realización de programas para *Windows*, pudiendo incorporar todos los elementos de este entorno informático como: ventanas, botones, cajas de diálogo y de texto, botones de opción y de selección, barras de desplazamiento, gráficos, menús, entre otros, para que el usuario observe una interfase atractiva y conocida, la cual pueda relacionar con los demás programas del sistema, ya que los programas realizados con dichas herramientas no pierden el estilo que *Windows* brinda a el usuario. Se escogió este lenguaje de programación ya que ofrece una gran facilidad en el manejo de sus herramientas, una gran cantidad de dispositivos gráficos que dan una buena presentación a los programas realizados, (Morales, 199?); (García, Rodríguez y Brazález, 1999).

## 4.2 PROGRAMAS REALIZADOS

### 4.2.1 Programa de Transformación de Coordenadas entre PSAD56 y SIRGAS95

Este programa permite al usuario realizar transformaciones de coordenadas que se encuentran en el sistema PSAD56 o en el sistema SIRGAS95 (ver ecuación (2.5)), mediante los 7 parámetros de transformación oficiales que Leiva (2003) calculó para el Ecuador (ver tabla 3.1). Se lo desarrolló en el lenguaje *Visual Basic 6.0*, y se encuentra disponible en el *Geoportal IDEESPE*<sup>21</sup> (Infraestructura De Datos Espaciales de la Escuela Politécnica Del Ejército) cuya dirección es <http://ideespe.espe.edu.ec/>. El programa mencionado se lo realizó bajo el auspicio de la *Escuela Politécnica del Ejército – ESPE* y el *Centro de Investigaciones Espaciales – CIE*.

Los datos de entrada pueden ser coordenadas geodésicas o geográficas en PSAD56 o SIRGAS95, dependiendo de la transformación que se quiera realizar. Para un mayor

---

<sup>21</sup> Permite acceder de manera fácil, cómoda y eficaz a los datos geográficos generados por la Escuela Politécnica Del Ejército como fruto del proceso de investigación de los estudiantes. Además consiente la reutilización de la información geográfica una vez que ésta haya servido para el proyecto por el cual fue creada.

entendimiento se requiere leer el manual de usuario, el cual se encuentra en el Anexo B, sección B.1 y para tener una idea de cómo se realizó el programa, se puede ver el Anexo C.1, el cual contiene el código fuente.

A continuación se muestra en la figura 4.1, la pantalla principal del programa.



Figura. 4.1 Programa de Transformación de Coordenadas entre PSAD56 y SIRGAS95.

#### 4.2.2 Programa de Transformación de Coordenadas con ITRFs y Épocas de Referencia utilizando 7 parámetros de transformación

Este programa permite al usuario realizar transformaciones de coordenadas entre los Marcos de Referencia (ver ecuación (2.6)) ITRF94, ITRF00, ITRF05, mediante 7 parámetros de transformación calculados por el IERS (ver tablas 2.2 y 2.3). También se realiza transformaciones entre el IGS05 y los ITRFs mencionados anteriormente utilizando 7 parámetros calculados por el IGS (ver tabla 2.4). La transformación de los Marcos de Referencia toman en cuenta la época de referencia de las coordenadas (ecuaciones (2.2), (2.3) y (2.4)), las cuales son calculadas mediante velocidades determinadas por el programa VMS09, (Drewes y Heidbach 2009). Este programa fue desarrollado en el lenguaje *Visual Basic 6.0* gracias al auspicio de la ESPE y el CIE. Se encuentra disponible en <http://ideespe.espe.edu.ec/>, dirección del *Geoportal IDEESPE* (Infraestructura De Datos Espaciales de la Escuela Politécnica del Ejército).

Al igual que el programa de la sección 4.2.1, se puede ingresar coordenadas geodésicas o cartesianas para realizar las transformaciones. Adicional a las coordenadas, se debe escoger los ITRFs y las épocas de referencia (ver Anexo B.2, manual de usuario). Para conocer la estructura de la programación, se puede revisar el Anexo C, sección C.2, el cual contiene el código fuente del programa. En la figura 4.2, se muestra la pantalla principal del programa.



**Figura. 4.2 Programa de Transformación de Coordenadas con ITRFs y Épocas de Referencia utilizando 7 parámetros.**

### 4.2.3 Programa de Transformación de Coordenadas con ITRFs y Épocas de Referencia utilizando 7 y 14 parámetros de transformación

Este programa fue desarrollado en el lenguaje *Visual Basic 6.0* para uso exclusivo del Instituto Geográfico Militar – IGM, con la finalidad de realizar transformaciones de coordenadas entre los Marcos de Referencia ITRF94, ITRF00, ITRF05 e IGS05, mediante 7 y 14 parámetros de transformación (ecuación (2.15)), calculados por el IERS y el IGS (ver figura. 4.3).

La primera opción de transformación con 7 parámetros (3 rotaciones, 3 traslaciones y 1 factor de escala), es la misma que se implementó en el programa de la sección 4.2.2. La

otra opción es la transformación por 14 parámetros, la cual toma en cuenta no solo las traslaciones, las rotaciones y el factor de escala, sino también sus variaciones en el tiempo. De igual forma, estas transformaciones entre Marcos de Referencia toman en cuenta la época de referencia de las coordenadas, las cuales son calculadas mediante velocidades determinadas por el programa VMS09, (Drewes y Heidbach 2009).

Para dar facilidad al usuario, se ha realizado un manual de usuario (ver Anexo B3), el cual muestra claramente como se debe utilizar este programa y de igual manera se ha anexado el código fuente (Anexo C.3).



**Figura. 4.3 Programa de Transformación de Coordenadas con ITRFs y Épocas de Referencia utilizando 7 y 14 parámetros.**

## CAPÍTULO 5

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

- Se realizó las conversiones de coordenadas geodésicas a coordenadas cartesianas del Sistema PSAD56 utilizando las ondulaciones geoidales de los Modelos Geopotenciales EGM96 y EGM08 para calcular la altura elipsoidal, con lo cual se tuvo dos alternativas para calcular nuevamente los 7 parámetros de transformación entre PSAD56 y SIRGAS95 con el modelo de Helmert. Una vez realizados los análisis estadísticos de los nuevos parámetros, se concluye que los que se calcularon en base a las alturas elipsoidales determinadas con las ondulaciones geoidales del EGM96 dan mejores resultados debido a que las diferencias entre coordenadas *observadas* y *calculadas* de los *puntos de control* con los parámetros oficiales y los nombrados anteriormente no son significativas, varían alrededor del milímetro.
- Se pueden utilizar los parámetros oficiales como los nuevos para realizar transformaciones de coordenadas entre PSAD56 y SIRGAS95 y viceversa, para escalas 1:15000 y menores, ya que se siguió la misma metodología para su obtención y el análisis estadístico demostró que los parámetros son iguales al 95% de intervalo de confianza.
- Con el análisis realizado en los modelos de velocidades VEMOS y VEMOS09, se concluye que se debe utilizar al programa VMS09 (del VEMOS09) para calcular las velocidades porque dieron mejores resultados en las coordenadas.
- El Programa “*Transformación de Coordenadas entre PSAD56 y SIRGAS95*”, ayuda al usuario a transformar coordenadas entre sistemas geocéntricos y no geocéntricos de una manera más fácil y rápida que transformando manualmente.
- El Programa “*Transformación de Coordenadas con ITRFs y Épocas de Referencia utilizando 7 parámetros de transformación*” automatiza los procesos de cálculo entre transformaciones entre ITRFs y épocas de referencia, de manera que el usuario optimice tiempo.
- El Programa “*Transformación de Coordenadas con ITRFs y Épocas de Referencia utilizando 7 y 14 parámetros de transformación*”, ayuda de una manera rápida y eficaz a realizar transformaciones entre ITRFs y épocas de referencia, tomando en cuenta 7 y 14 parámetros, lo cual ayudará a optimizar tiempo a los usuarios del IGM.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar el Modelo Geopotencial EGM96 para el cálculo de ondulaciones geoidales, ya que se demostró mediante el cálculo de los nuevos parámetros que se acopla mejor a nuestro país.
- Se recomienda realizar un Modelo de Velocidades para el Ecuador, de esta manera se obtendrán velocidades de los puntos mas precisos y habrán menores variaciones en las coordenadas.
- Es importante tomar en cuenta todos los signos y unidades tanto de los parámetros de transformación como de las coordenadas que se va a transformar, para que no haya errores en dichas transformaciones.
- Para obtener buenos resultados en las transformaciones que se realicen utilizando los programas que se han desarrollado en el presente proyecto, es necesario leer los manuales de usuario, para despejar cualquier duda e inquietud.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Boucher, Claude; Altamimi, Zuheir; Sillard, Patrick and Feissel-Vernier, Martinen, “The ITRF2000”, *IERS Technical Note; No. 31*, 2004.

Conceptos básicos: funcionamiento de la programación, [http://msdn.microsoft.com/es-es/library/ms172579\(VS.90\).aspx](http://msdn.microsoft.com/es-es/library/ms172579(VS.90).aspx), Abril, 2010.

*Curso Avanzado de Sistemas de Posicionamiento por Satélite*, Madrid, Julio 2006.

*Curso Avanzado de Sistemas de Posicionamiento por Satélite*, Madrid, Julio 2008.

Definición de Lenguaje de Programación, [www.definicion.org/lenguaje-de-programacion](http://www.definicion.org/lenguaje-de-programacion), Abril, 2010.

Drewes, H., O. Heidbach. (2005). “Deformation of the South American crust estimated from finite element and collocation methods”. Springer. IAG Symposia, Vol. 128: 544-549.

Drewes, H. and O. Heidbach (2009). “The 2009 horizontal velocity model for South America and the Caribbean”. Submitted to C. Pacino et al. (Eds.). IAG Scientific Assembly “Geodesy for Planet Earth”. IAG Symposia, Buenos Aires, August 31 to September 4, 2009.

EGM96 File description, [ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/pub/egm96/general\\_info/readme.egm96](ftp://cddis.gsfc.nasa.gov/pub/egm96/general_info/readme.egm96)

EGM2008 - WGS84 Version, [http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/egm08\\_wgs84.html](http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm2008/egm08_wgs84.html)

File: ITRF94.REPORT, ITRF94, Data Analysis, <ftp://itrf.ign.fr/pub/itrf/itrf94/ITRF94.REPORT>, Diciembre 2009.

IERS Home, <http://www.iers.org/IERS/EN/IERSHome/home.html>, Septiembre 2009.

[IGSMail-5447]: Proposed IGS05 Realization, <http://igs.cb.jpl.nasa.gov/mail/igsmail/2006/msg00170.html>, Diciembre, 2009.

Imagen de SIRGAS95, <http://www.sirgas.org/fileadmin/images/Mapas/Sirgas95C.jpg>, Diciembre, 2009.

Imagen de SIRGAS00, <http://www.sirgas.org/fileadmin/images/Mapas/Sirgas2000C.jpg>, Diciembre, 2009.

ITRF 2000, [http://itrf.ensg.ign.fr/ITRF\\_solutions/2000/datum.php](http://itrf.ensg.ign.fr/ITRF_solutions/2000/datum.php), Diciembre 2009.  
<ftp://itrf.ensg.ign.fr/pub/itrf/ITRF.TP>, Agosto 2009.

Javier García de Jalón, José Ignacio Rodríguez, Alfonso Brazález, “Aprenda Visual Basic 6.0 como si estuviera en primero”, San Sebastian, Agosto de 1999.

Lemoine, F; Kenyon, S; Factor, J; Trimmer, R; Pavlis, N; Chinn, D; Cox, C; Klosko, S; Luthcke, B; Torrence, M; Wang, Y; Williamson, R; Pavlis, E; Rapp R; and Olson, T, “The Development of the Joint NASA GSFC and NIMA Geopotential Model EGM96”, *NASA Goddard Space Flight Center*, Greenbelt, Maryland, 20771 USA, July 1998.

Leiva, César, *Determinación de Parámetros de Transformación entre los Sistemas PSAD56 Y WGS84 Para El País*, 20 de Febrero de 2003.

McCarthy, Dennis and Petit, Gerard, “IERS Conventions 2003”, *IERS Technical Note; No. 32*, 2004.

Modelo de Velocidades para América del Sur y El Caribe (VEMOS2009), <http://www.sirgas.org/index.php?id=54>, Diciembre, 2009.

Morales, Interfase Visual Basic 6.0, [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lem/morales\\_h\\_oe/capitulo2.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/morales_h_oe/capitulo2.pdf), Abril, 2010.



NGA/NASA EGM96, N=M=360 Earth Gravitational Model, <http://earth-info.nga.mil/GandG/wgs84/gravitymod/egm96/egm96.html>

Paredes N, “Determinación del datum vertical en la Libertad, Ecuador”, *Acta Oceanográfica del Pacífico, INOCAR- Ecuador*, 3 (1), 1986.

Pavlis, N.K., S.A. Holmes, Kenyon, S.C, and Factor, J.K, *An Earth Gravitational Model to Degree 2160: EGM2008*, presented at the 2008 General Assembly of the European Geosciences Union, Vienna, Austria, April 13-18, 2008.

Placas tectónicas de la Tierra, [http://www.windows.ucar.edu/tour/link=/earth/images/earth\\_plates\\_usgs\\_L\\_2\\_jpg\\_image.sp.html](http://www.windows.ucar.edu/tour/link=/earth/images/earth_plates_usgs_L_2_jpg_image.sp.html)

Realizaciones SIRGAS95, <http://www.sirgas.org/index.php?id=76>, Diciembre, 2009.

Realizaciones SIRGAS00, <http://www.sirgas.org/index.php?id=77>, Diciembre, 2009.

Red SIRGAS-CON, <http://www.sirgas.org/index.php?id=61>, Diciembre, 2009.

REGME (Red GNSS de Monitoreo Continuo del Ecuador), <http://www.geoportaligm.gov.ec:8080/portal/news/regme-red-gnss-de-monitoreo-continuo-del-ecuador>, Enero, 2010.

Salazar, Dagoberto, *Navegación Aérea, Cartografía y Cosmografía*, 10 de Septiembre de 2008.

Science background - General Concepts, <http://itrf.ensg.ign.fr/general.php>, Julio 2009.

Sistema De Referência Geocêntrico Para As Américas SIRGAS, *Boletim Informativo N° 6*, Fevereiro de 2002.

Soler, Tomás and Marshall, John, *Rigours transformation of variance-covariance matrices of GPS-derived coordinates and velocities*, 12 October 2002.

Soler, Tomás and Marshall, John, *A note on frame transformations with applications to geodetic datums*, 2003.

Tipos de contactos entre Placas tectónicas,  
<http://tlacaelel.igeofcu.unam.mx/~GeoD/estudiantes/caridad/Html/placas.html>

The International Terrestrial Reference System, Definitions,  
[http://itrf.ensg.ign.fr/itrs\\_itrf.php?page=1](http://itrf.ensg.ign.fr/itrs_itrf.php?page=1), Septiembre 2009.

The International Terrestrial Reference System, Realization of ITRS,  
[http://itrf.ensg.ign.fr/itrs\\_itrf.php?page=2](http://itrf.ensg.ign.fr/itrs_itrf.php?page=2), Septiembre 2009.

The Egm96 Geoid Undulation with Respect to the WGS84 Ellipsoid,  
<http://cddis.nasa.gov/926/egm96/doc/S11.HTML#Section111>, Diciembre, 2009.

Zurutuza, J, “Primer Taller Técnico sobre Cartografía y Topografía”, *Nuevas Infraestructuras de Referencia, Sistemas Tridimensionales*, 13 de Febrero de 2009.

## ANEXO A

### OPCIONES DE TRANSFORMACIONES ENTRE ITRFS CON 14 PARÁMETROS.

#### A.1. Ejemplo de Transformación del IGS05 al ITRF94.

<b>TRANSFORMACIÓN ENTRE ITRFs CON 14 PARÁMETROS.</b>			
<b>DEL IGS05 AL ITRF94</b>			
<b>Datos de Entrada</b>		<b>Datos de Salida</b>	
Marco de Referencia	IGS05	Marco de Referencia	ITRF94
Época de rastreo GNSS (ti)	2010.0	Época de referencia (to)	1995.4
Época de los parámetros (tk)		Época de los parámetros (tk)	1997.0
<b>Transformación del IGS05 al ITRF05.</b>			
No se puede realizar la transformación con 14 parámetros, solo con 7 parámetros.			
<b>Datos de Entrada</b>		<b>Datos de Salida</b>	
Marco de Referencia	IGS05	Marco de Referencia	ITRF05
Época de entrada (ti)	2010.0	Época de referencia (to)	2010.0
Época de los parámetros (tk)		Época de los parámetros (tk)	
<b>Transformación del ITRF05 al ITRF00.</b>			
<b>Datos de Entrada</b>		<b>Datos de Salida</b>	
Marco de Referencia	ITRF05	Marco de Referencia	ITRF00
Época de entrada (ti)	2010.0	Época de referencia (to)	2000.4
Época de los parámetros (tk)	2000.0	Época de los parámetros (tk)	2000.0
<b>Transformación del ITRF00 al ITRF94.</b>			
<b>Datos de Entrada</b>		<b>Datos de Salida</b>	
Marco de Referencia	ITRF00	Marco de Referencia	ITRF94
Época de entrada (ti)	2000.4	Época de referencia (to)	1995.4
Época de los parámetros (tk)	1997.0	Época de los parámetros (tk)	1997.0
Para época de los parámetros	<b>(to-tk)</b>		
Para época de referencia	<b>(to-ti)</b>		
<b>NOTA: Aplicar la fórmula (2.15)</b>			

## A.2. Ejemplo de Transformación del ITRF94 al IGS05.

<b>TRANSFORMACIÓN ENTRE ITRFs CON 14 PARÁMETROS. DEL ITRF94 AL IGS05</b>			
<b>Datos de Entrada</b>		<b>Datos de Salida</b>	
Marco de Referencia	ITRF94	Marco de Referencia	IGS05
Época de referencia (ti)	1995.4	Época de rastreo GNSS (to)	2010.0
Época de los parámetros (tk)	1997.0	Época de los parámetros (tk)	
<b>Transformación del ITRF94 al ITRF00</b>			
<b>Datos de Entrada</b>		<b>Datos de Salida</b>	
Marco de Referencia	ITRF94	Marco de Referencia	ITRF00
Época de entrada (ti)	1995.4	Época de referencia (to)	2000.4
Época de los parámetros (tk)	1997.0	Época de los parámetros (tk)	1997.0
<b>Transformación del ITRF00 al ITRF05.</b>			
<b>Datos de Entrada</b>		<b>Datos de Salida</b>	
Marco de Referencia	ITRF00	Marco de Referencia	ITRF05
Época de entrada (ti)	2000.4	Época de referencia (to)	2010.0
Época de los parámetros (tk)	2000.0	Época de los parámetros (tk)	2000.0
<b>Transformación del ITRF05 al IGS05.</b>			
No se puede realizar la transformación con 14 parámetros, solo con 7 parámetros.			
<b>Datos de Entrada</b>		<b>Datos de Salida</b>	
Marco de Referencia	ITRF05	Marco de Referencia	IGS05
Época de entrada (ti)	2010.0	Época de referencia (to)	2010.0
Época de los parámetros (tk)		Época de los parámetros (tk)	
Para época de los parámetros	<b>(ti-tk)</b>		
Para época de referencia	<b>(to-ti)</b>		
<b>NOTA: Aplicar la fórmula (2.15) con los signos invertidos en los parámetros.</b>			

## ANEXO B

### MANUALES DE USUARIO

#### B.1. Programa: Transformación de Coordenadas entre PSAD56 y SIRGAS95.

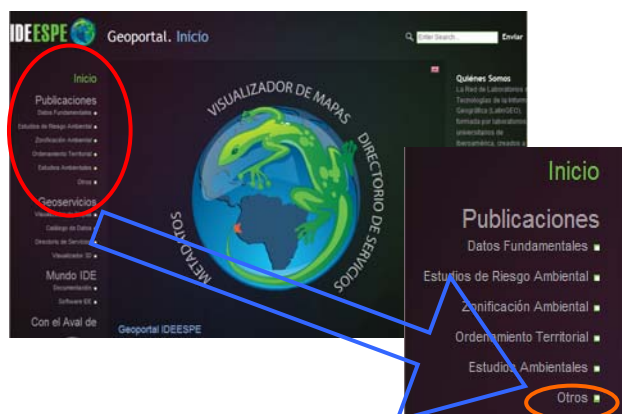
Este programa permite al usuario realizar transformaciones de coordenadas que se encuentran en el sistema PSAD56 ó SIRGAS95, mediante los 7 parámetros de transformación oficiales que Leiva (2003) calculó para el Ecuador. Se lo desarrolló en el lenguaje *Visual Basic 6.0*, y se encuentra disponible en el *Geoportal IDEESPE* (Infraestructura De Datos Espaciales de la Escuela Politécnica Del Ejército) cuya dirección es <http://ideespe.espe.edu.ec/>.

El programa fue elaborado para cumplir con uno de los objetivos específicos del proyecto de grado “Transformación entre el Sistema PSAD56 y los Marcos de Referencia ITRF, utilizando los modelos de Helmert y de velocidades de placas tectónicas VEMOS” que realizó Andrea G. Santacruz J, con el auspicio de la Escuela Politécnica del Ejército – ESPE y el Centro de Investigaciones Espaciales – CIE.

#### Manual de Usuario

El siguiente manual muestra al usuario como se debe utilizar el programa de una manera fácil y clara para que obtenga buenos resultados.

1. Se ingresa al Geoportal IDEESPE (<http://ideespe.espe.edu.ec/>), y se busca en **Publicaciones** la opción **Otros**, como se muestra en la figura 1.



**Figura. 1. Ingreso al Geoportal**

2. Se selecciona y se copia la carpeta nombrada **PSAD56\_SIRGAS95**, (figura 2).



Figura. 2. Selección y copia del programa

3. La carpeta **PSAD56\_SIRGAS95** contiene el archivo ejecutable del programa “Transformación de Coordenadas entre PSAD56 y SIRGAS95”, un archivo del Manual de Usuario en PDF, una carpeta que contiene el programa EGM96, llamada **Geoidal** y una carpeta **Support** en la que se encuentran aplicaciones y librerías necesarias para el programa. Otra opción para abrir el programa es justamente desde esta carpeta **Support** que también contiene el ejecutable, como muestra la figura 3.

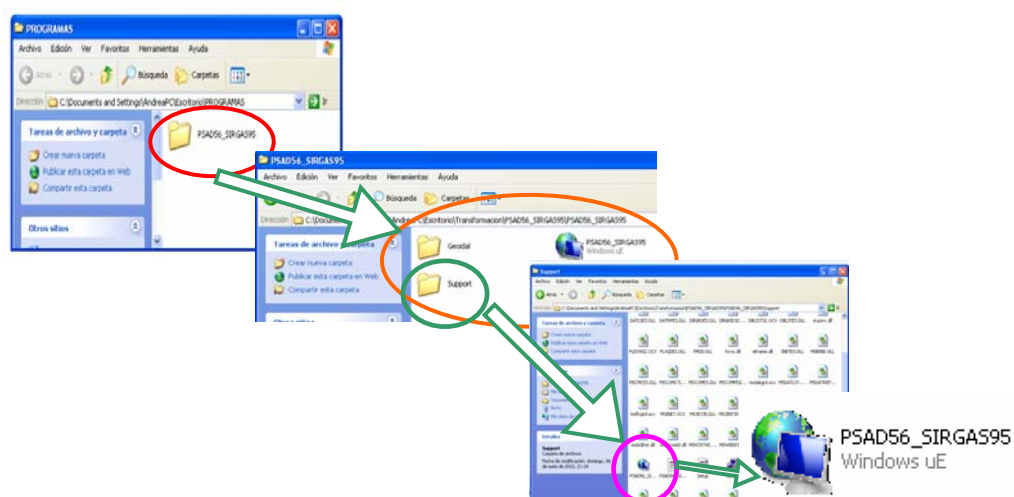
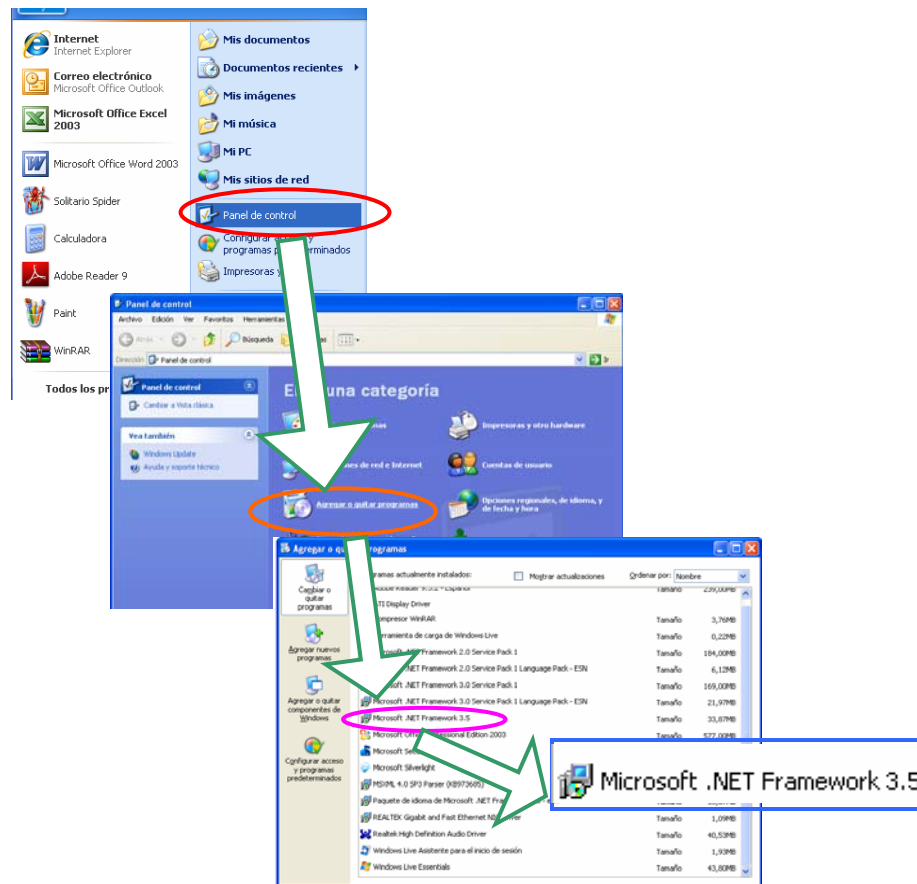


Figura. 3. Archivos del programa

4. Una vez copiada la carpeta que contiene el programa, se debe verificar si su Computador tiene instalado el programa *net.framework*, el cual contiene librerías

de soporte para software generado en la plataforma .net y en plataformas anteriores en el Sistema Operativo Microsoft Windows, para que el programa de transformaciones pueda ser utilizado en el Computador. Se verifica su instalación en **Panel de Control** (ver figura 4).



**Figura. 4. Verificación del programa *net.framework***

5. Si el Computador del usuario no tiene *net.framework*, se lo puede descargar de la página oficial de Windows. Para que haya mejores resultados, se recomienda que el usuario baje la última versión del *net.framework*.
6. Una vez instalado o verificado el programa *net.framework*, el usuario podrá utilizar el programa “Transformación de Coordenadas entre PSAD56 y SIRGAS95” al dar doble clic en el icono del ejecutable, como se muestra en la figura 5.



**Figura. 5. Icono del ejecutable.**

7. Se despliega la pantalla del programa (figura 6), y el usuario podrá realizar las transformaciones de coordenadas que el usuario necesite.



Figura. 6. Pantalla principal del programa

8. Dentro del programa “Transformación entre PSAD56 y SIRGAS95” existen dos opciones para la transformación de coordenadas, como se observan en la figura 7, de **PSAD56 a SIRGAS95** y de **SIRGAS95 a PSAD56**, que pueden ser escogidas dependiendo de las necesidades del usuario. Es importante recalcar que estas transformaciones se realizan con los parámetros oficiales calculados para el Ecuador por Leiva (2003).

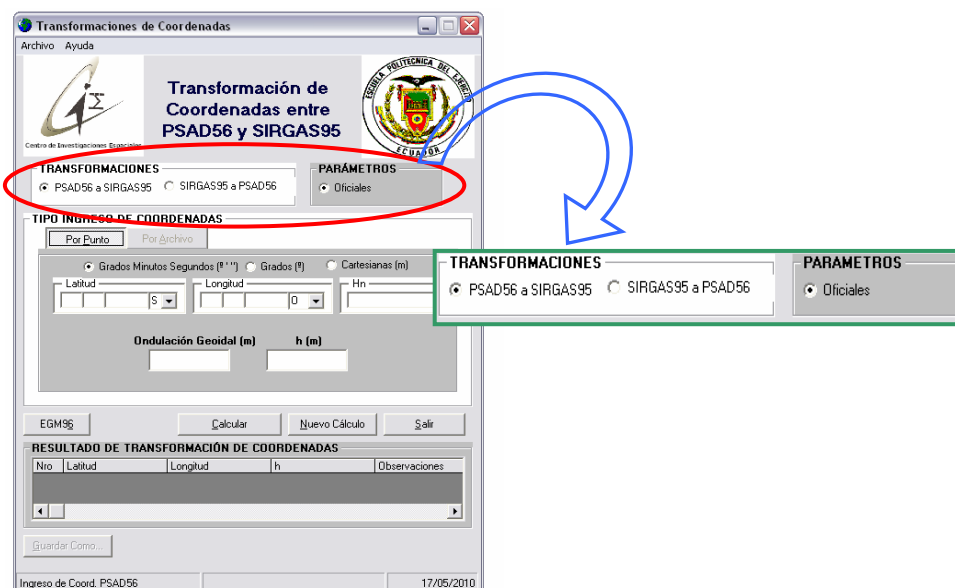


Figura. 7 Selección del tipo de transformaciones



9. Se selecciona el tipo de ingreso de coordenadas que pueden ser coordenadas geodésicas *latitud, longitud* en **grados minutos segundos** ( $^{\circ} \prime \prime$ ) y *Hn* ó *h* en metros, (figura 8).

The screenshot shows the 'Transformaciones de Coordenadas' application window. The title bar reads 'Transformaciones de Coordenadas'. The main window contains several sections:

- TRANSFORMACIONES:** Radio buttons for 'PSAD56 a SIRGAS95' (selected) and 'SIRGAS95 a PSAD56'.
- PARÁMETROS:** Radio button for 'Oficiales'.
- TIPO INGRESO DE COORDENADAS:** Radio buttons for 'Grados Minutos Segundos (° ' ")', 'Grados (°)', and 'Cartesianas (m)'. The 'Grados Minutos Segundos' option is selected and circled in red.
- Inputs:** Fields for 'Latitud', 'Longitud', and 'Hn' with dropdown menus for 'S' and '0'.
- Buttons:** 'Por Punto', 'Por Archivo', 'Calcular', 'Nuevo Cálculo', and 'Salir'.
- RESULTADO DE TRANSFORMACIÓN DE COORDENADAS:** A table with columns: 'Nro', 'Latitud', 'Longitud', 'h', and 'Observaciones'.
- Footer:** 'Ingreso de Coord. PSAD56' and '17/05/2010'.

Two callout boxes on the right highlight the 'Grados Minutos Segundos' radio button and the corresponding input fields for 'Latitud', 'Longitud', and 'Hn'.

Figura. 8. Selección del tipo de ingreso de coordenadas geodésicas en grados, minutos y segundos

10. Otro tipo de ingreso es coordenadas geodésicas *latitud, longitud* en **grados** ( $^{\circ}$ ) y *Hn* ó *h* en metros como se muestra en la figura 9.

The screenshot shows the 'Transformaciones de Coordenadas' application window. The title bar reads 'Transformaciones de Coordenadas'. The main window contains several sections:

- TRANSFORMACIONES:** Radio buttons for 'PSAD56 a SIRGAS95' (selected) and 'SIRGAS95 a PSAD56'.
- PARÁMETROS:** Radio button for 'Oficiales'.
- TIPO INGRESO DE COORDENADAS:** Radio buttons for 'Grados Minutos Segundos (° ' ")', 'Grados (°)', and 'Cartesianas (m)'. The 'Grados (°)' option is selected and circled in red.
- Inputs:** Fields for 'Latitud', 'Longitud', and 'Hn' with dropdown menus for 'S' and '0'.
- Buttons:** 'Por Punto', 'Por Archivo', 'Calcular', 'Nuevo Cálculo', and 'Salir'.
- RESULTADO DE TRANSFORMACIÓN DE COORDENADAS:** A table with columns: 'Nro', 'Latitud', 'Longitud', 'h', and 'Observaciones'.
- Footer:** 'Ingreso de Coord. PSAD56' and '17/05/2010'.

Two callout boxes on the right highlight the 'Grados (°)' radio button and the corresponding input fields for 'Latitud', 'Longitud', and 'Hn'.

Figura. 9. Selección del tipo de ingreso de coordenadas geodésicas en grados

11. La última opción es el ingreso de coordenadas **Cartesianas X, Y, Z** en metros.

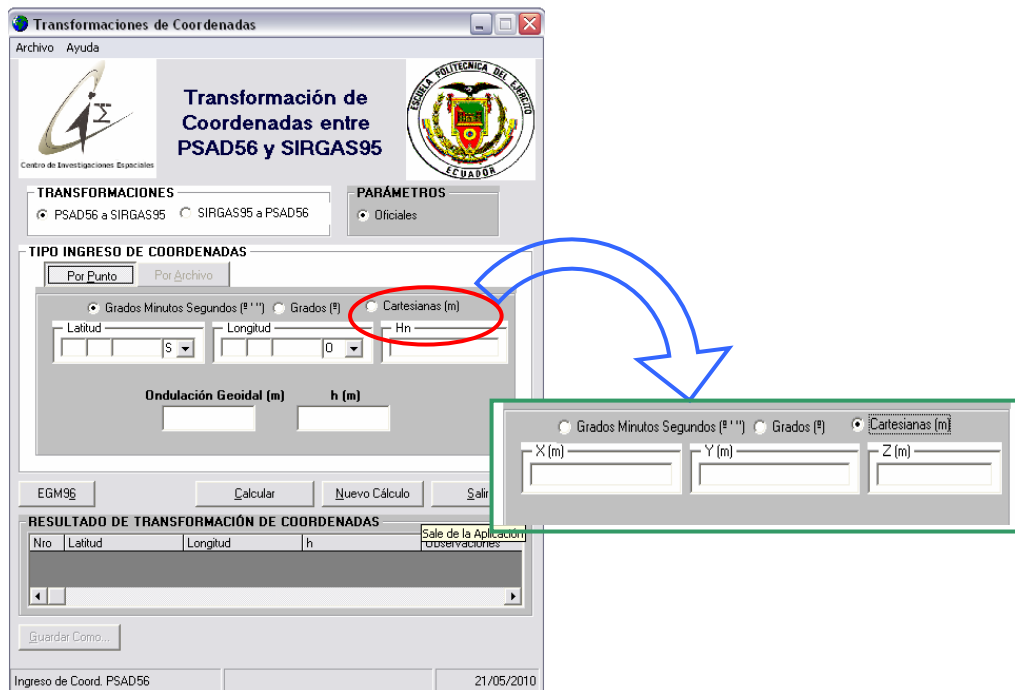


Figura. 10. Selección del tipo de ingreso de coordenadas cartesianas

### Transformación de PSAD56 a SIRGAS95

- Si el usuario optó por la transformación de **PSAD56 a SIRGAS95** ingresando coordenadas en **grados minutos segundos (° ‘ ‘‘)** ó **grados (°)**, se debe utilizar el programa **Geoid Calculator** que se encuentra habilitado dentro de este programa en el botón **EGM96** (ver figura 11).

El **Geoid Calculator** lo creó La *National Imagery and Mapping Agency* - NIMA, actualmente la *National Geospatial-Intelligence Agency* – NGA, el cual se basa en el modelo de Geopotencial *EGM96* y sirve para obtener la ondulación geoidal que es necesaria para calcular la altura elipsoidal  $h$  en base a la altura nivelada  $H_n$  para transformar las coordenadas geodésicas a cartesianas para realizar los cálculos internos.

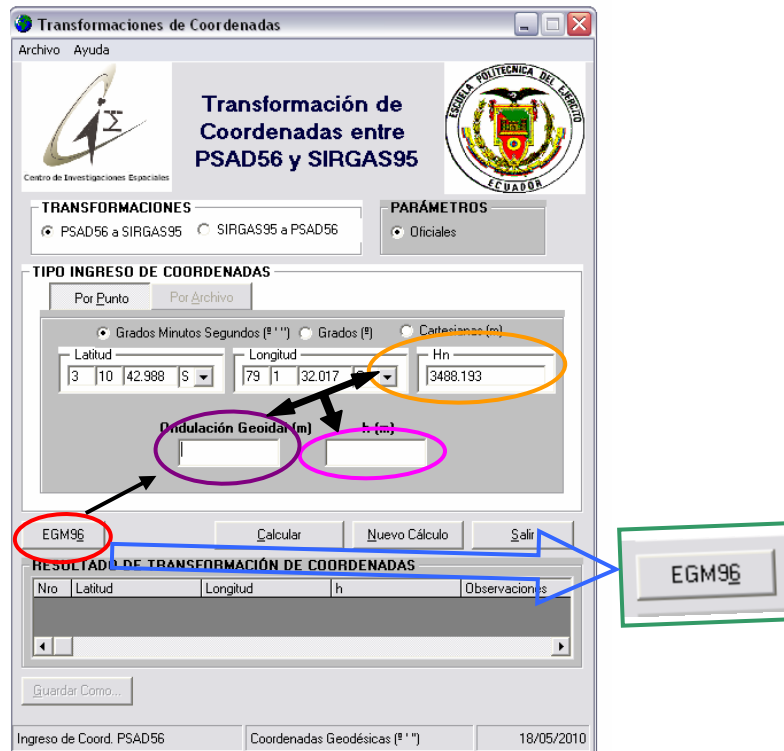


Figura. 11. Programa EGM96

- El programa **Geoid Calculator** calcula la ondulación geoidal ó altura geoidal **Geoid Height** al hacer doble clic en **Run** como se observa en la figura 12, después de ingresar la latitud, longitud en Grados, minutos, segundos y la altura nivelada del punto en estudio.



Figura. 12. Ingreso de datos en el programa EGM96

- Se ingresa las coordenadas y la ondulación geoidal calculada en metros y automáticamente se calcula la altura elipsoidal  $h$  (ver figura 13).

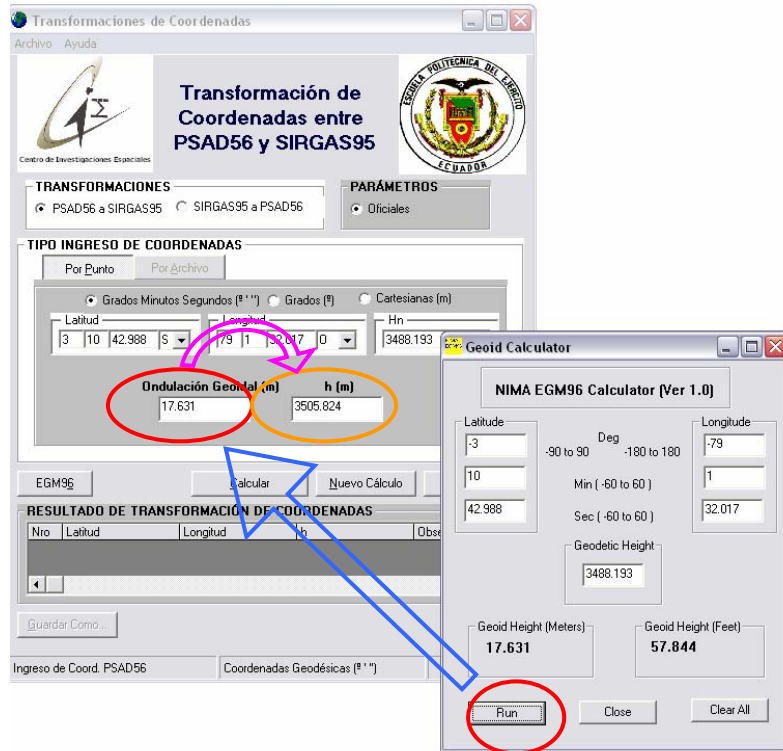


Figura. 13. Ingreso de la ondulación geoidal para cálculo de altura elipsoidal

- Una vez ingresados todos los datos se debe revisar que la ubicación geográfica como se ve en la figura 14. En la *latitud*: Norte (signo+), Sur (signo-) y en la *Longitud*: Este (signo+), Oeste (signo-).

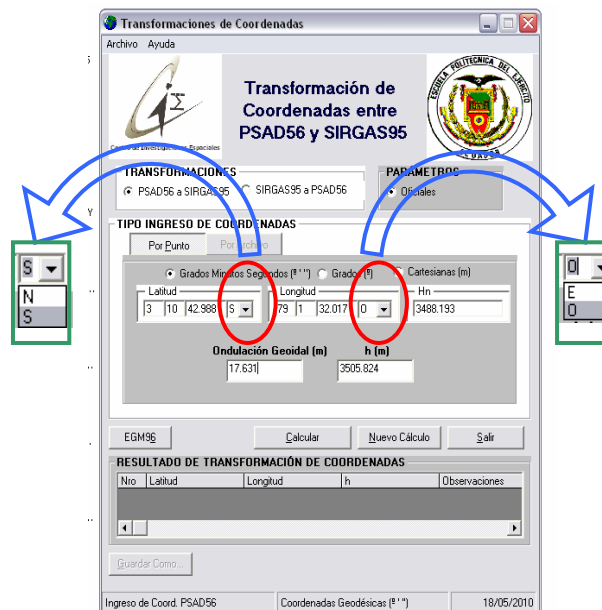


Figura. 14. Selección de ubicación geográfica

- Si escoge la opción de coordenadas **Cartesianas**, simplemente ingresa las coordenadas en **X, Y** y **Z** en PSAD56, verificando los signos de cada coordenada para evitar errores en la transformación (ver figura 15).



Figura. 15. Transformación con coordenadas cartesianas

#### Transformación de SIRGAS95 a PSAD56.

- Si el usuario optó por la transformación de **SIRGAS95 a PSAD56** ingresando coordenadas en **grados minutos segundos (° ‘ “)**, **grados (°)** ó **Cartesianas X, Y, Z (m)**, no se realiza el cálculo de la ondulación geoidal ya que las coordenadas en SIRGAS95 ya tienen altura elipsoidal  $h$  (figura 16).



Figura.16. Transformación de SIRGAS95 a PSAD56

12. Una vez verificados todos los datos ingresados que son necesarios para la transformación, se da doble clic en **Calcular**, como muestra la figura 17.

**Transformaciones de Coordenadas**

Archivo Ayuda

Centro de Investigaciones Espaciales

**Transformación de Coordenadas entre PSAD56 y SIRGAS95**

ESUELA POLITÉCNICA DEL EJERCITO  
ECUADOR

**TRANSFORMACIONES**  
 PSAD56 a SIRGAS95  SIRGAS95 a PSAD56

**PARÁMETROS**  
 Oficiales

**TIPO INGRESO DE COORDENADAS**  
 Por Punto  Por Archivo

Grados Minutos Segundos (° ' ")  Grados (°)  Cartesianas (m)

Latitud: 3 10 42.988 S Longitud: 79 1 32.017 0 Hn: 3488.193

Ondulación Geoidal (m): 17.631 h (m): 3505.824

EGM96 **Calcular** Nuevo Cálculo Salir

**RESULTADO DE TRANSFORMACIÓN DE COORDENADAS**

Nro	Latitud	Longitud	h	Observaciones

Guardar Como...

Ingreso de Coord. PSAD56 Coordenadas Geodésicas (° ' ") 18/05/2010

**Figura. 17. Opción calcular**

13. En la figura 18 se muestra los resultados de las transformaciones, las cuales aparecen en la casilla **Resultado de Transformación de Coordenadas**.

**Transformaciones de Coordenadas**

Archivo Ayuda

Centro de Investigaciones Espaciales

**Transformación de Coordenadas entre PSAD56 y SIRGAS95**

ESUELA POLITÉCNICA DEL EJERCITO  
ECUADOR

**TRANSFORMACIONES**  
 PSAD56 a SIRGAS95  SIRGAS95 a PSAD56

**PARÁMETROS**  
 Oficiales

**TIPO INGRESO DE COORDENADAS**  
 Por Punto  Por Archivo

Grados Minutos Segundos (° ' ")  Grados (°)  Cartesianas (m)

Latitud: 3 10 42.988 S Longitud: 79 1 32.017 0 Hn: 3488.193

Ondulación Geoidal (m): 17.631 h (m): 3505.824

EGM96 **Calcular** Nuevo Cálculo Salir

**RESULTADO DE TRANSFORMACIÓN DE COORDENADAS**

Nro	Latitud	Longitud	h	Observaciones
1	-3° 10' 55.336396	-79° 1' 39.86227	3254.733406754	

Guardar Como...

Ingreso de Coord. PSAD56 Coordenadas Geodésicas (° ' ") 18/05/2010

**Figura. 18. Resultados de la transformación**

14. Con los resultados visibles se activa el botón **Guardar Como..** y se puede guardar en una hoja Excel las transformaciones realizadas como se observa en al figura 19. También se puede guardar los resultados haciendo clic en la pestaña **Archivo / Guardar Como..**

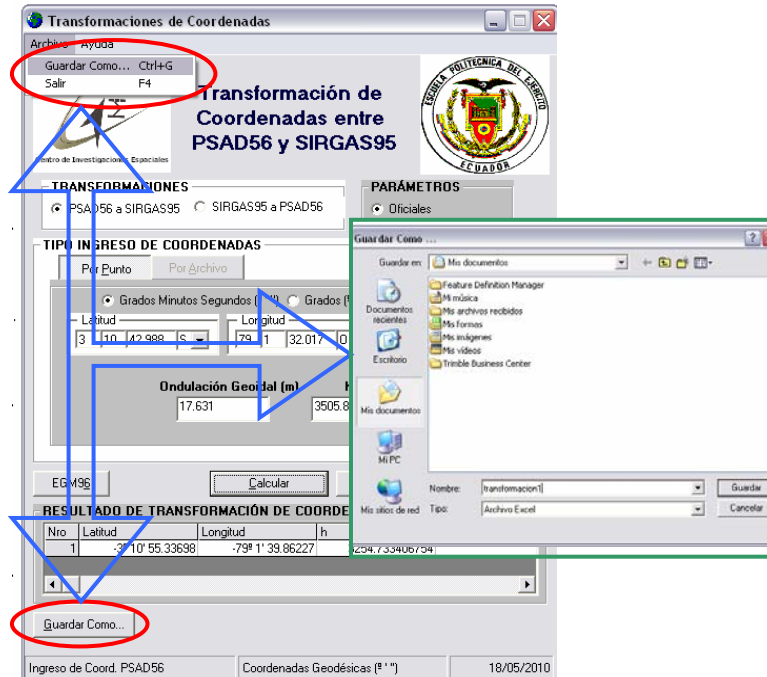


Figura. 19. Guardar resultados en Excel

15. Existe la opción de **Nuevo Cálculo** (ver figura 20), el cual limpia la pantalla y el usuario pueda realizar nuevos cálculos.

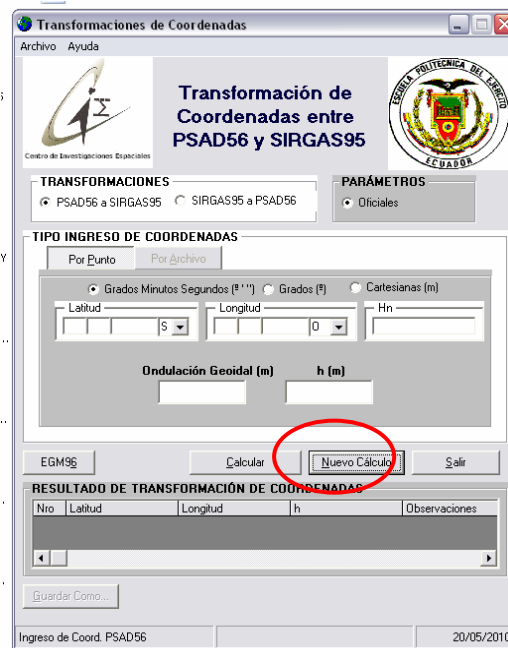


Figura. 20. Nuevo Cálculo

16. En la figura 21, se muestra la pestaña **Ayuda**, la cual contiene el Manual de Usuario.



Figura. 21. Manual de usuario

17. La opción **Salir**, como se muestra en la figura 22, es para salir del programa.

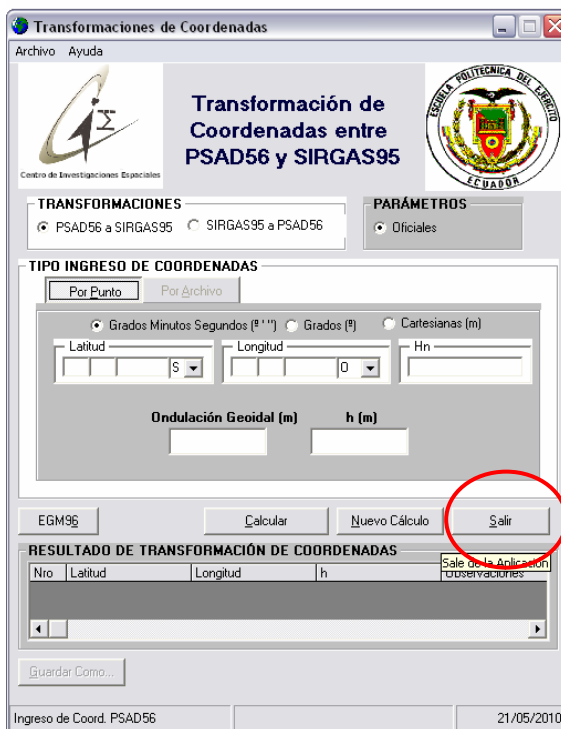


Figura. 22. Opción de salida del programa



## B.2. Programa: Transformación de Coordenadas con ITRF's y Épocas de Referencia utilizando 7 parámetros de transformación.

Este programa permite al usuario realizar transformaciones de coordenadas entre los Marcos de Referencia ITRF94, ITRF00, ITRF05, mediante 7 parámetros de transformación (3 rotaciones, 3 traslaciones y 1 factor de escala) calculados por el El *Earth Rotation and Reference System Service* - IERS. También se realiza transformaciones entre el IGS05 y los ITRFs mencionados anteriormente utilizando 7 parámetros calculados por el *Internacional GNSS Service* - IGS.

La transformación de los Marcos de Referencia toman en cuenta la época de referencia de las coordenadas, las cuales son calculadas mediante velocidades determinadas por el programa VMS09, (Drewes y Heidbach 2009). Este programa fue desarrollado en el lenguaje *Visual Basic 6.0*, y se encuentra disponible en el *Geoportal IDEESPE* (Infraestructura De Datos Espaciales de la Escuela Politécnica Del Ejército) cuya dirección es <http://ideespe.espe.edu.ec/>.

El programa fue elaborado para cumplir con uno de los objetivos específicos del proyecto de grado “Transformación entre el Sistema PSAD56 y los Marcos de Referencia ITRF, utilizando los modelos de Helmert y de velocidades de placas tectónicas VEMOS” que realizó Andrea G. Santacruz J, con el auspicio de la Escuela Politécnica del Ejército – ESPE y el Centro de Investigaciones Espaciales – CIE.

### Manual de Usuario

El siguiente manual muestra al usuario como se debe utilizar el programa de una manera fácil y clara para que obtenga buenos resultados.

1. Se ingresa al Geoportal IDEESPE (<http://ideespe.espe.edu.ec/>), y se busca en **Publicaciones** la opción **Otros**, como se muestra en la figura 1.

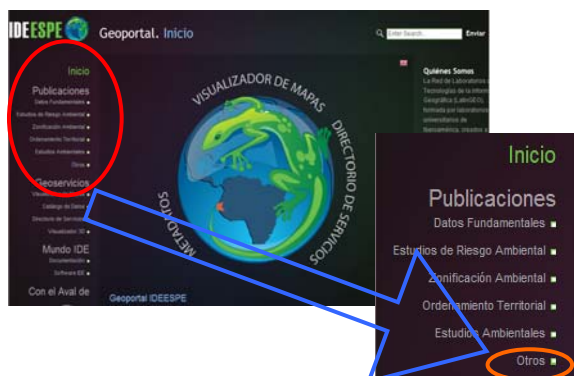


Figura. 1. Ingreso al Geoportal

2. Se selecciona y se copia la carpeta nombrada **Trans\_ITRFs**, (figura 2)



Figura. 2. Selección y copia del programa

3. La carpeta **Trans\_ITRFs** contiene el archivo ejecutable del programa “Transformación de Coordenadas entre PSAD56 y SIRGAS95”, un archivo del Manual de Usuario en PDF, una carpeta que contiene el programa VMS09, llamada **Vemos2009**, y una carpeta **Support** en la que se encuentran aplicaciones y librerías necesarias para el programa. Otra opción para abrir el programa es justamente desde esta carpeta **Support** que también contiene el ejecutable, como muestra la figura 3.

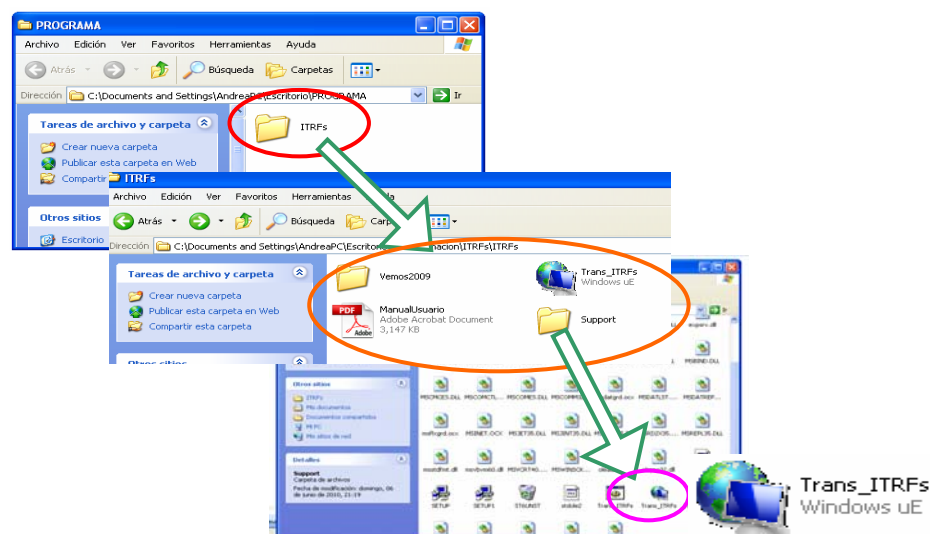


Figura. 3. Archivos del programa

- Una vez copiada la carpeta que contiene el programa, se debe verificar si su Computador tiene instalado el programa *net.framework*, el cual contiene librerías de soporte para software generado en la plataforma .net y en plataformas anteriores en el Sistema Operativo Microsoft Windows, para que el programa de transformaciones pueda ser utilizado en el Computador. Se verifica su instalación en **Panel de Control** (ver figura 4).

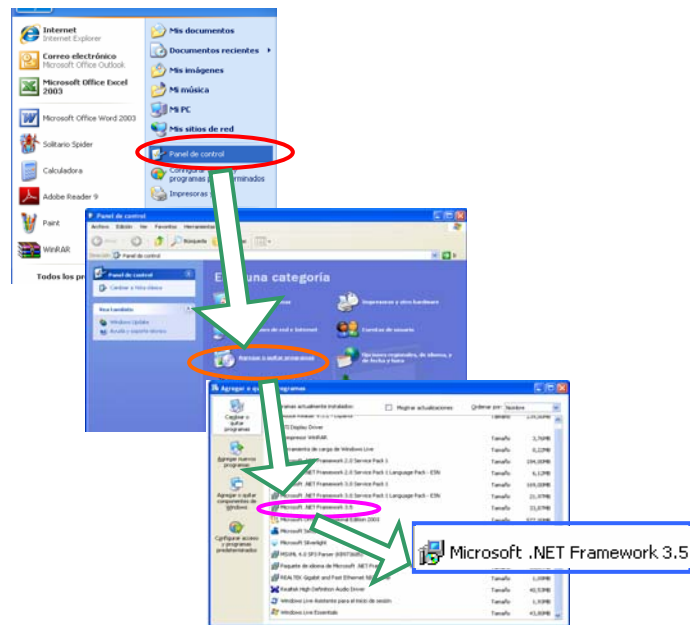


Figura. 4. Verificación del programa *net.framework*

- Si el Computador del usuario no tiene *net.framework*, se lo puede descargar de la página oficial de Windows. Para que haya mejores resultados, se recomienda que el usuario baje la última versión del *net.framework*.
- Una vez instalado o verificado el programa *net.framework*, el usuario podrá utilizar el programa “Transformación de Coordenadas con ITRF’s y Épocas de Referencia utilizando 7 parámetros de transformación.” al dar doble clic en el ejecutable, como se muestra en la figura 5.



Figura. 5. Icono del ejecutable

- Se despliega la pantalla del programa (figura 6), y el usuario podrá realizar las transformaciones de coordenadas que el usuario necesite.



Figura. 6. Pantalla principal del programa

## 8. Ingreso de Transformaciones.

Dentro del programa “Transformación de Coordenadas con ITRF’s y Épocas de Referencia utilizando 7 parámetros de transformación” existen varias opciones para la transformación de coordenadas. Los ITRFs que se han considerado para este programa son: **ITRF94** (época de referencia 1995.4), **ITRF00** (época de referencia 2000.4), **ITRF05** (época de referencia abierta para que el usuario la ingrese), **IGS05** (época de referencia abierta para que el usuario la ingrese) y **Nuevo** (en esta opción se debe ingresar tanto los parámetros de transformación del nuevo ITRF como la época de referencia que requiera el usuario).

- Para el ingreso de las coordenadas es necesario que el usuario vaya a la opción **Ingresar ti**, en la cual va a escoger el ITRF en el que están referidas sus coordenadas y a colocar la época de referencia del rastreo en el caso de haber seleccionado **ITRF05** y el **IGS05**, ya que las demás opciones de ITRFs vienen con su época de referencia ya establecida (figura 7).



Figura. 7. Selección del ITRF de entrada y  $t_i$

- Si el usuario selecciona la opción **Nuevo**, tiene la posibilidad de ingresar 7 parámetros del nuevo ITRF que se desea utilizar para realizar transformaciones de acuerdo a las necesidades del usuario. En este caso las coordenadas que se van a ingresar deben estar referidas al ITRF Nuevo y la época de referencia ingresada debe ser igual a la del rastreo (figura 8).

Se debe recordar que para el ingreso de los nuevos parámetros, estos deben estar con las mismas unidades que se piden. Las traslaciones deben estar en metros (m) y las rotaciones en radianes (rad).

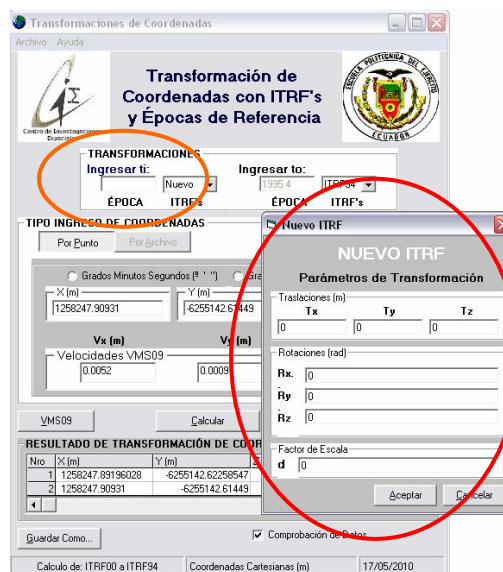


Figura. 8. Nuevo ITRF como dato de entrada

- Una vez escogido el ITRF y época en que las coordenadas de ingreso se encuentran, se selecciona **Ingresar to**, el cual se refiere al ITRF y a la época de referencia que el usuario quiera que sus coordenadas se transformen, quiere decir que se escoge a que ITRF y época se quiere llevar a dichas coordenadas, como se muestra en la figura 9. De igual manera que en la opción **Ingresar ti**, existen los mismos ITRFs para realizar las transformaciones.

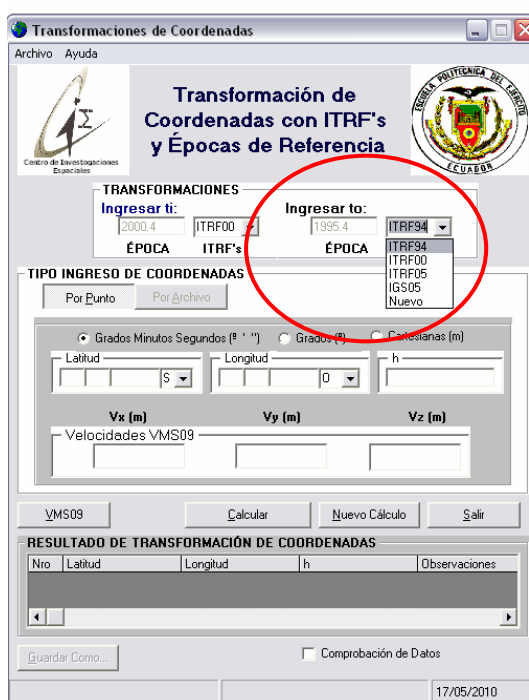


Figura. 9. Selección del ITRF de entrada y to

- De igual manera, si el usuario escoge el ITRF **Nuevo** en la opción **Ingresar to**, deberá ingresar los parámetros de transformación (3 traslaciones, 3 rotaciones y un factor de escala), para que las coordenadas que ingrese posteriormente, se transformen a ese nuevo ITRF. Además se debe ingresar la época de referencia a la cual se quiera llevar a las coordenadas.

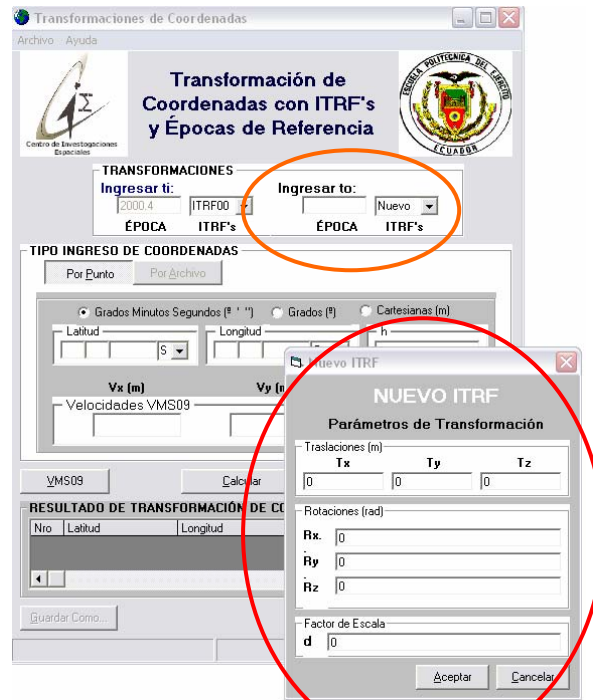


Figura. 10. Nuevo ITRF como dato de salida

## 9. Ingreso de Coordenadas

- Una vez escogida la opción de transformación, se escoge el tipo de ingreso de coordenadas, estas pueden ser coordenadas geodésicas *latitud*, *longitud* en **grados minutos segundos** ( $^{\circ} \prime \prime$ ) y *h* en metros (figura 11).

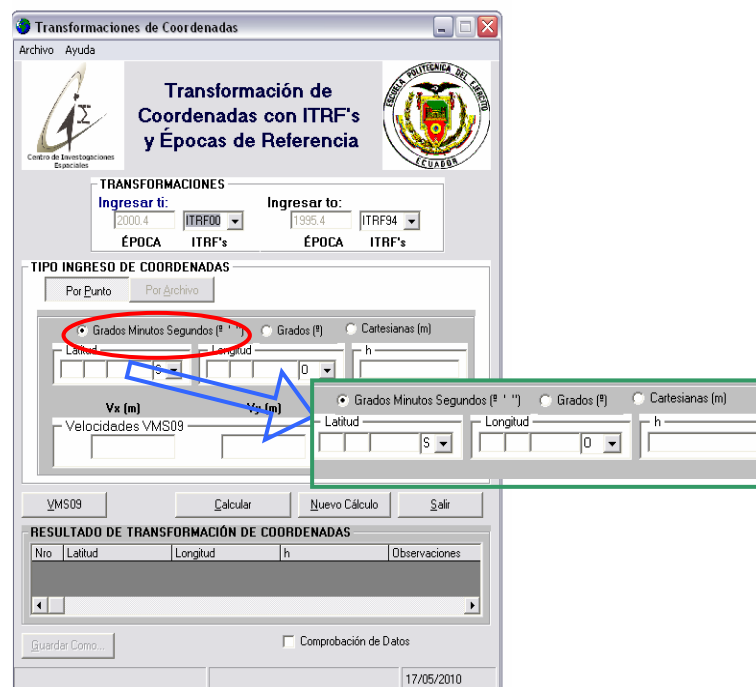


Figura. 11. Selección del tipo de ingreso de coordenadas geodésicas en grados, minutos y segundos

- Otro tipo de ingreso es coordenadas geodésicas *latitud, longitud* en **grados (°)** y *h* en metros (figura 12).

The screenshot shows the 'Transformaciones de Coordenadas' application window. The title bar reads 'Transformaciones de Coordenadas'. The main window has a header with the logo of the 'CENTRO DE INVESTIGACIONES ESPACIALES' and the 'ESCUELA POLITÉCNICA DEL LITORAL' of 'ECUADOR'. Below the header, there are fields for 'Ingresar ti:' (2000.4, ITRF00) and 'Ingresar to:' (1995.4, ITRF94). The 'TIPO INGRESO DE COORDENADAS' section has three radio buttons: 'Grados Minutos Segundos (° ' ')', 'Grados (°)', and 'Cartesianas (m)'. The 'Grados (°)' option is selected and circled in red. Below this, there are input fields for 'Latitud' (with a 'S' dropdown), 'Longitud' (with a '0' dropdown), and 'h'. There are also fields for 'Vx (m)', 'Vy (m)', and 'Vz (m)'. A green box highlights the 'Grados (°)' option and the 'Latitud', 'Longitud', and 'h' fields. At the bottom, there is a 'RESULTADO DE TRANSFORMACIÓN DE COORDENADAS' table with columns for 'Nro', 'Latitud', 'Longitud', 'h', and 'Observaciones'. The status bar at the bottom indicates 'Coordenadas Geodésicas (°)' and the date '17/05/2010'.

Figura. 12. Selección del tipo de ingreso de coordenadas geodésicas en grados

- La última opción es el ingreso de coordenadas **Cartesianas X, Y, Z** en metros (figura 13).

The screenshot shows the 'Transformaciones de Coordenadas' application window. The title bar reads 'Transformaciones de Coordenadas'. The main window has a header with the logo of the 'CENTRO DE INVESTIGACIONES ESPACIALES' and the 'ESCUELA POLITÉCNICA DEL LITORAL' of 'ECUADOR'. Below the header, there are fields for 'Ingresar ti:' (2000.4, ITRF00) and 'Ingresar to:' (1995.4, ITRF94). The 'TIPO INGRESO DE COORDENADAS' section has three radio buttons: 'Grados Minutos Segundos (° ' ')', 'Grados (°)', and 'Cartesianas (m)'. The 'Cartesianas (m)' option is selected and circled in red. Below this, there are input fields for 'X (m)', 'Y (m)', and 'Z (m)'. There are also fields for 'Vx (m)', 'Vy (m)', and 'Vz (m)'. A green box highlights the 'Cartesianas (m)' option and the 'X (m)', 'Y (m)', and 'Z (m)' fields. At the bottom, there is a 'RESULTADO DE TRANSFORMACIÓN DE COOR' table with columns for 'Nro', 'X (m)', 'Y (m)', and 'Z (m)'. The status bar at the bottom indicates 'Coordenadas Cartesianas (m)' and the date '17/05/2010'.

Figura. 13. Selección del tipo de ingreso de coordenadas cartesianas



10. Se ingresa las coordenadas dependiendo de la opción que se haya escogido. Si escogió el ingreso en coordenadas geodésicas es necesario tener en cuenta la ubicación geográfica como se ve en la figura 14. En *latitud*: **Norte** (signo+), **Sur** (signo-) y en *Longitud*: **Este** (signo+), **Oeste** (signo-).

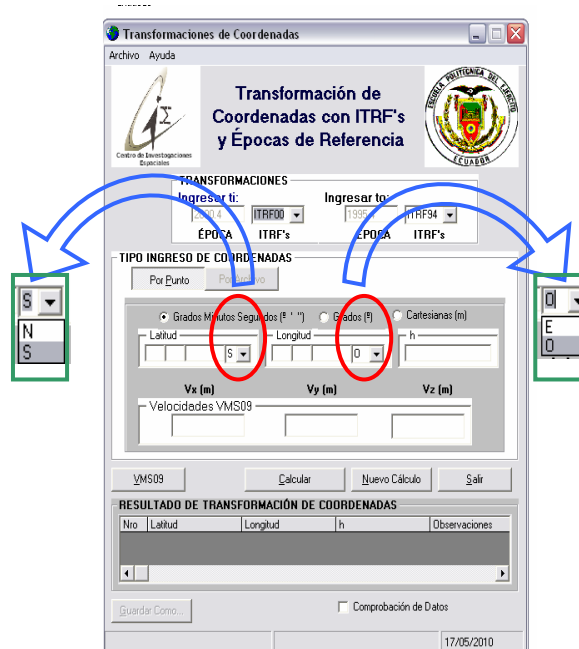


Figura. 14. Selección de ubicación geográfica

- Si escoge la opción de coordenadas **Cartesianas**, simplemente ingresa las coordenadas en **X, Y y Z** en metros, verificando los signos de cada coordenada para evitar errores en la transformación (ver figura 15).

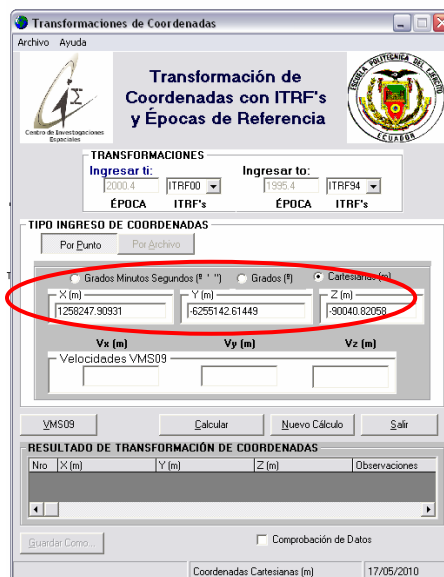


Figura. 15. Transformación con coordenadas cartesianas

## 11. Ingreso de Velocidades

- Después de la revisión de las coordenadas, se debe ingresar las velocidades de cada coordenada. Si se desconoce las velocidades, el usuario las puede calcular mediante el programa VMS09 (Drewes y Heidbach 2009), el cual se lo puede utilizar al hacer clic en el botón **VMS09** (ver figura 16).



Figura. 16. Programa VMS09

- Para calcular las velocidades con el VMS09, es necesario primeramente escoger la opción del ingreso de las coordenadas, se tecleará la letra **k** para que pueda ingresar las coordenadas por el teclado (ver figura 17), y se pulsará **Enter**.

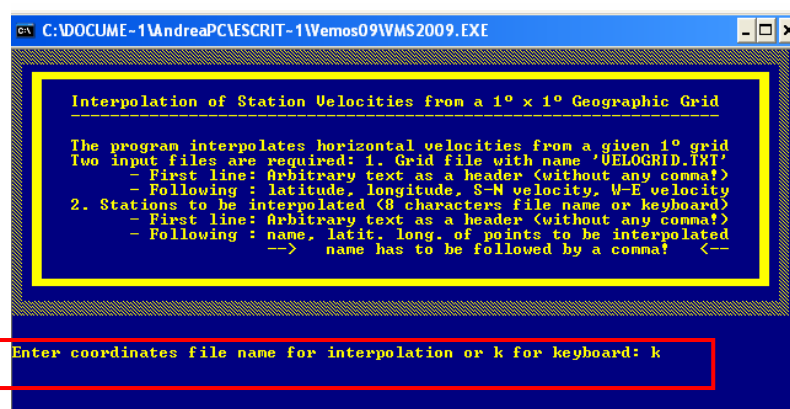


Figura. 17. Tipo de ingreso de coordenadas al VMS09

- Luego se dará nombre al archivo que contendrá las velocidades calculadas en el programa. En el ejemplo se escribió **estacion**, como nombre al archivo (figura 18).

```

C:\DOCUME-1\AndreaPC\ESCRIT-1\Vemos09\WMS2009.EXE

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

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

Enter coordinates file name for interpolation or k for keyboard: k
Enter file name for output of the interpolated point velocities: estacion

```

Figura. 18. Nombre del archivo que guarda las velocidades calculadas en el VMS09

- A continuación se escribirá la palabra **encabezado**, que es el archivo que como su nombre lo indica, contiene el encabezado (ver figura 19) que se copiará el archivo donde se guardó las velocidades calculadas. Pulsar **Enter**.

```

C:\DOCUME-1\AndreaPC\ESCRIT-1\Vemos09\WMS2009.EXE

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

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

Enter coordinates file name for interpolation or k for keyboard: k
Enter file name for output of the interpolated point velocities: estacion
Enter heading text: encabezado_

```

Figura. 19. Archivo del encabezado

- Por último, se ingresa el **nombre del punto**, una **coma** (,), un **espacio** y las **coordenadas** del punto (latitud en  $\phi$ , y longitud en  $\lambda$ ) que deben estar en grados sexagesimales, como se muestra en la figura 20. Tomar en cuenta la ubicación geográfica, en latitud: **Norte** (signo+), **Sur** (signo-) y en Longitud: **Este** (signo+), **Oeste** (signo-).

```

C:\DOCUME-1\AndreaPC\ESCRIT-1\Vemos09\VMS2009.EXE

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

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

Enter coordinates file name for interpolation or k for keyboard: k
Enter file name for output of the interpolated point velocities: estacion
Enter heading text: encabezado
Enter station, phi lambda (stop with station=END): lata, -0.813951 -78.626497

```

Figura. 20. Ingreso de las coordenadas al VMS09

- Se pulsa **Enter** y se calcula las velocidades de las coordenadas ingresadas, las cuales aparecen en la pantalla, debajo de las coordenadas ingresadas como se ve en la figura 21.

```

C:\DOCUME-1\AndreaPC\ESCRIT-1\Vemos09\VMS2009.EXE

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

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

Enter coordinates file name for interpolation or k for keyboard: k
Enter file name for output of the interpolated point velocities: estacion
Enter heading text: encabezado
Enter station, phi lambda (stop with station=END): lata, -0.813951 -78.626497
lata -0.814 -78.626 0.0095 0.0053 0.0052 0.0009 0.0095 4
Enter station, phi lambda (stop with station=END):

```

Figura. 21. Cálculo de las velocidades en el VMS09

- Automáticamente se genera un archivo con el nombre que el usuario escribió, el cual se va a guardar en la carpeta que contiene al presente programa (figura 22).

```

ESTACION - Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
Interpolated Station velocities From 1 Degree * 1 Degree Velocity Field Grid
Geographic v(Lat), v(Long) and geocentric v(X), v(Y), v(Z) velocities [m/a]
encabezado
Interpolated from VEMOS2009 in ITRF2005 (Drewes and Heidbach 2009)
Station Latitude Longitude v(Lat) v(Long) v(X) v(Y) v(Z) no
-----
lata -0.814 -78.626 0.0095 0.0053 0.0052 0.0009 0.0095 4

```

Figura. 22. Archivo con las velocidades calculadas

12. Con las velocidades calculadas volvemos al programa principal e ingresamos las velocidades de las coordenadas, como se observa en la figura 23.

Transformaciones de Coordenadas

Archivo Ayuda

Transformación de Coordenadas con ITRF's y Épocas de Referencia

TRANSFORMACIONES

Ingresar ti: 2000.4 ITRF00 Ingresar to: 1995.4 ITRF94

ÉPOCA ITRF's ÉPOCA ITRF's

TIPO INGRESO DE COORDENADAS

Por Punto Por Archivo

Grados Minutos Segundos (° ' ") Grados (°) Cartesianas (m)

X (m) 1258247.90931 Y (m) -6255142.61449 Z (m) -90040.82058

Vx (m) Vy (m) Vz (m)

Velocidades VMS09

0.0052 0.0009 0.0095

VMS09 Calcular Nuevo Cálculo Salir

RESULTADO DE TRANSFORMACIÓN DE COORDENADAS

Nro	X (m)	Y (m)	Z (m)	Observaciones

Guardar Como... Comprobación de Datos

Coordenadas Cartesianas (m) 17/05/2010

Figura. 23. Ingreso de las velocidades

13. Una vez que verificados todos los datos ingresados que son necesarios para la transformación, se da doble clic en **Calcular** (ver figura 24).

Transformaciones de Coordenadas

Archivo Ayuda

Transformación de Coordenadas con ITRF's y Épocas de Referencia

TRANSFORMACIONES

Ingresar ti: 2000.4 ITRF00 Ingresar to: 1995.4 ITRF94

ÉPOCA ITRF's ÉPOCA ITRF's

TIPO INGRESO DE COORDENADAS

Por Punto Por Archivo

Grados Minutos Segundos (° ' ") Grados (°) Cartesianas (m)

X (m) 1258247.90931 Y (m) -6255142.61449 Z (m) -90040.82058

Vx (m) Vy (m) Vz (m)

Velocidades VMS09

0.0052 0.0009 0.0095

VMS09 Calcular Nuevo Cálculo Salir

RESULTADO DE TRANSFORMACIÓN DE COORDENADAS

Nro	X (m)	Y (m)	Z (m)	Observaciones

Guardar Como... Comprobación de Datos

Coordenadas Cartesianas (m) 17/05/2010

Figura. 24. Cálculo de transformaciones

14. Los resultados aparecen en la casilla **Resultado de Transformación de Coordenadas** (figura 25).

Transformaciones de Coordenadas

Transformación de Coordenadas con ITRF's y Épocas de Referencia

TRANSFORMACIONES

Ingresar ti: 2000.4 ITRF00 Ingresar to: 1995.4 ITRF94

ÉPOCA ITRF's ÉPOCA ITRF's

TIPO INGRESO DE COORDENADAS

Por Punto Por Archivo

Grados Minutos Segundos (° ' ") Grados (°) Cartesianas (m)

X (m) 1258247.90931 Y (m) -6255142.61449 Z (m) -90040.82058

Vx (m) Vy (m) Vz (m)

Velocidades VMS09 0.0052 0.0009 0.0095

Calcular

**RESULTADO DE TRANSFORMACIÓN DE COORDENADAS**

Nro	X (m)	Y (m)	Z (m)	Observaciones
1	1258247.89196028	-6255142.62258547	-90040.886719563	

Guardar Como... Comprobación de Datos

Calculo de: ITRF00 a ITRF94 Coordenadas Cartesianas (m) 17/05/2010

Figura. 25. Resultado de la transformación

Si se activa la opción Comprobación de Datos y se hace clic otra vez en Calcular, el programa realiza los cálculos de “regreso”, esto quiere decir que las coordenadas resultantes automáticamente se ingresan como coordenadas de iniciales, al igual que el ITRF y la época de referencia. Con este “regreso” el usuario puede comprobar que el modelo matemático aplicado en el programa esta dando buenos resultados, ya que puede darse cuenta que las coordenadas del nuevo resultado son iguales a las que inicialmente ingresó (figura 26).

Transformaciones de Coordenadas

Transformación de Coordenadas con ITRF's y Épocas de Referencia

TRANSFORMACIONES

Ingresar ti: 2000.4 ITRF00 Ingresar to: 1995.4 ITRF94

ÉPOCA ITRF's ÉPOCA ITRF's

TIPO INGRESO DE COORDENADAS

Por Punto Por Archivo

Grados Minutos Segundos (° ' ") Grados (°) Cartesianas (m)

X (m) 1258247.90931 Y (m) -6255142.61449 Z (m) -90040.82058

Vx (m) Vy (m) Vz (m)

Velocidades VMS09 0.0052 0.0009 0.0095

Calcular

**RESULTADO DE TRANSFORMACIÓN DE COORDENADAS**

Nro	X (m)	Y (m)	Z (m)	Observaciones
1	1258247.89196028	-6255142.62258547	-90040.886719563	
2	1258247.90931	-6255142.61449	-90040.82058	

Guardar Como...  Comprobación de Datos

Calculo de: ITRF00 a ITRF94 Coordenadas Cartesianas (m) 17/05/2010

Figura. 26. Comprobación de Datos.

15. Con los resultados visibles se activa el botón **Guardar Como..** y se puede guardar en una hoja Excel las transformaciones realizadas como se observa en al figura 27. También se puede guardar los resultados haciendo clic en la pestaña **Archivo / Guardar Como..**

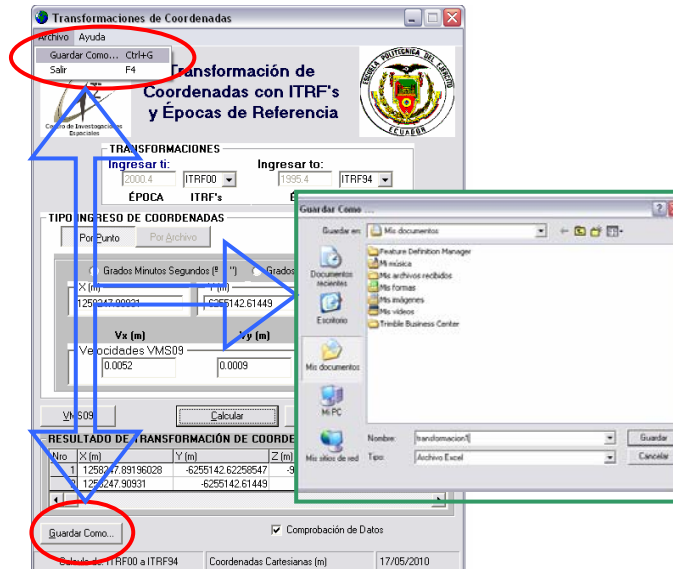


Figura. 27. Guardar resultados en Excel

16. Existe la opción de **Nuevo Cálculo** (ver figura 28), el cual limpia la pantalla y el usuario pueda realizar nuevos cálculos.

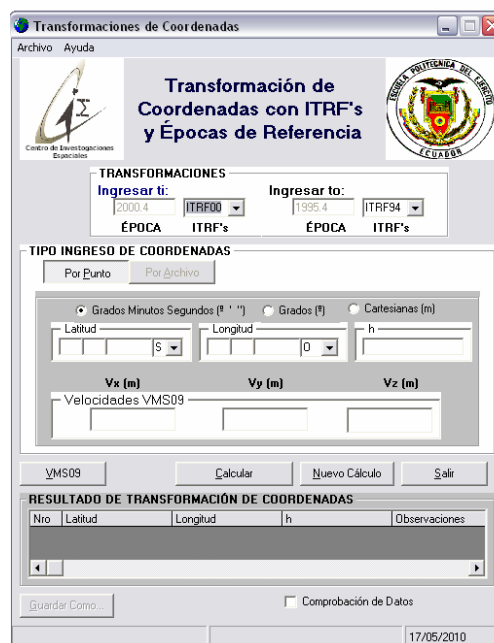


Figura. 28. Nuevo Cálculo

17. En la figura 29, se muestra la pestaña **Ayuda**, la cual contiene el Manual de Usuario.

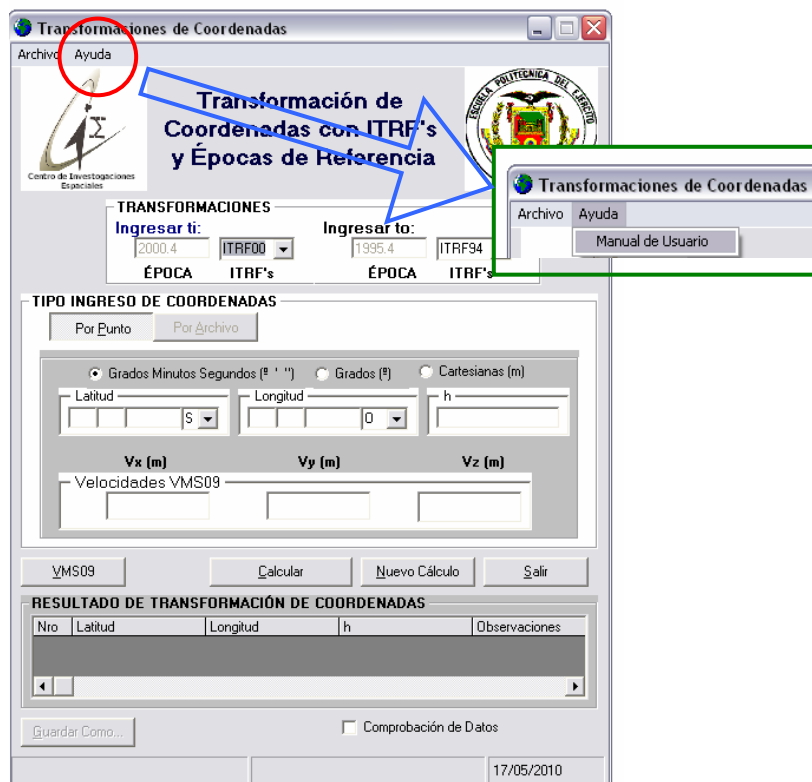


Figura. 29. Manual de usuario

18. La opción **Salir**, como se muestra en la figura 30, es para salir del programa.

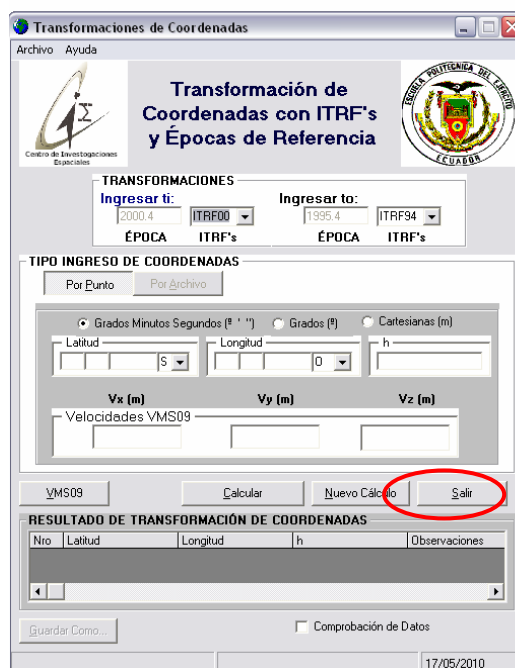


Figura. 30. Opción de salida del programa



### B.3. Programa: Transformación de Coordenadas con ITRFs y Épocas de Referencia utilizando 7 y 14 parámetros de transformación.

Este programa fue desarrollado en el lenguaje *Visual Basic 6.0* para uso exclusivo del Instituto Geográfico Militar – IGM, con la finalidad de realizar transformaciones de coordenadas entre los Marcos de Referencia ITRF94, ITRF00, ITRF05 e IGS05, mediante 7 y 14 parámetros de transformación calculados por el IERS y el IGS.

La primera opción de transformación con 7 parámetros toma en cuenta 3 rotaciones, 3 traslaciones y 1 factor de escala y la otra opción la transformación por 14 parámetros considera las traslaciones, las rotaciones y el factor de escala y las variaciones de estos en el tiempo. De igual forma, estas transformaciones entre Marcos de Referencia toman en cuenta la época de referencia de las coordenadas, las cuales son calculadas mediante velocidades determinadas por el programa VMS09, (Drewes y Heidbach 2009).

#### Manual de Usuario

El siguiente manual muestra al usuario como se debe utilizar el programa de una manera fácil y clara para que obtenga buenos resultados.

1. Se selecciona y se copia la carpeta nombrada **ITRFs\_IGM**. (figura 1).

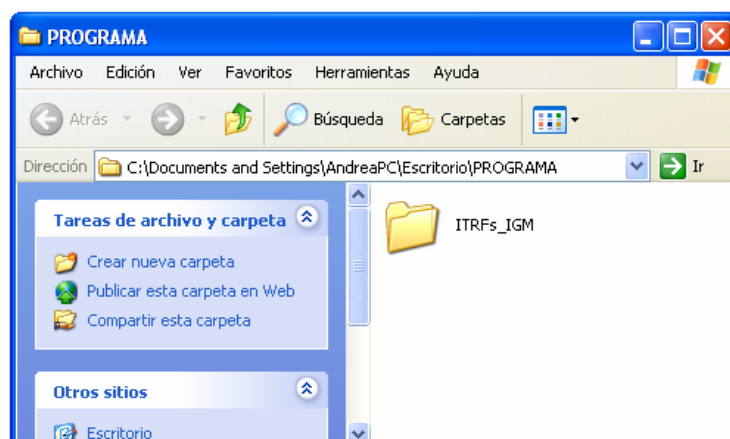


Figura. 1. Selección y copia del programa

2. La carpeta **Trans\_ITRFs** contiene el archivo ejecutable del programa “Transformación de Coordenadas entre PSAD56 y SIRGAS95” y una carpeta que contiene el programa VMS09, llamada **Vemos20009**, como muestra la figura 2.

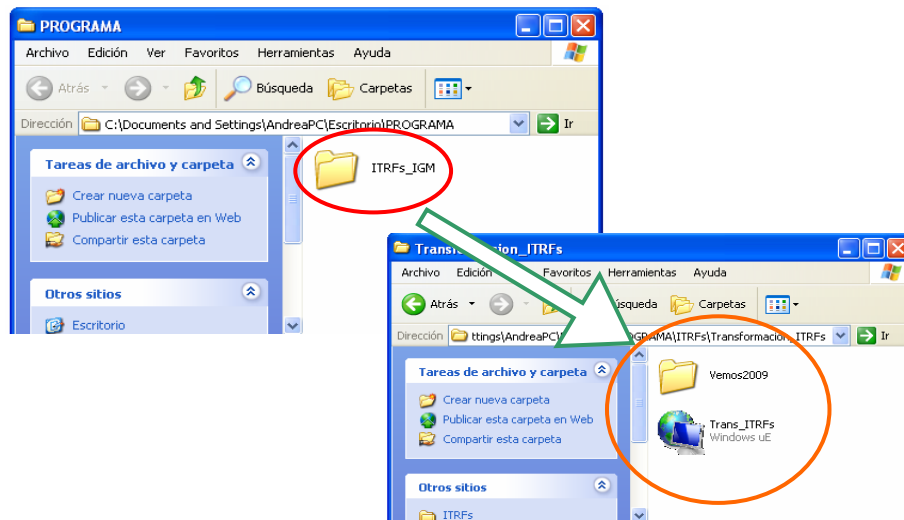


Figura. 2. Archivos del programa

- Una vez copiada la carpeta que contiene el programa, se debe verificar si su Computador tiene instalado el programa *net.framework*, el cual contiene librerías de soporte para software generado en la plataforma .net y en plataformas anteriores en el Sistema Operativo Microsoft Windows, para que el programa de transformaciones pueda ser utilizado en el Computador. Se verifica su instalación en **Panel de Control** (ver figura 3).

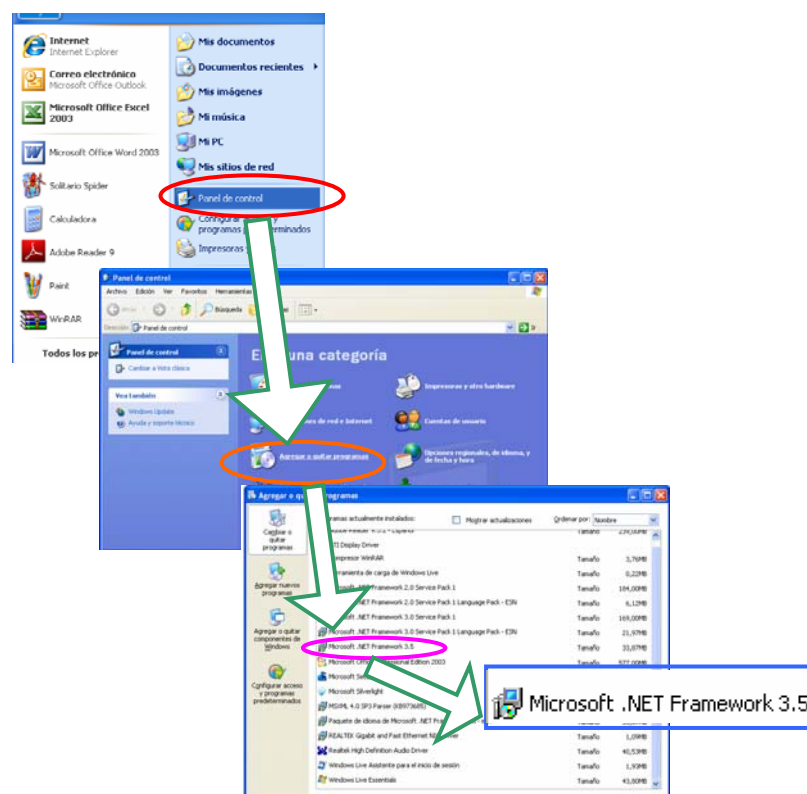


Figura. 3. Verificación del programa *net.framework*

4. Si el Computador del usuario no tiene *net.framework*, se lo puede descargar de la página oficial de Windows. Para que haya mejores resultados, se recomienda que el usuario baje la última versión del *net.framework*.
5. Una vez instalado o verificado el programa *net.framework*, el usuario podrá utilizar el programa “Transformación de Coordenadas con ITRF`s y Épocas de Referencia utilizando 7 parámetros de transformación.” al dar doble clic en el ejecutable, como se muestra en la figura 4.



Figura. 4. Icono del ejecutable

6. Se despliega la pantalla del programa (figura 5), y el usuario podrá realizar las transformaciones de coordenadas que el usuario necesite.

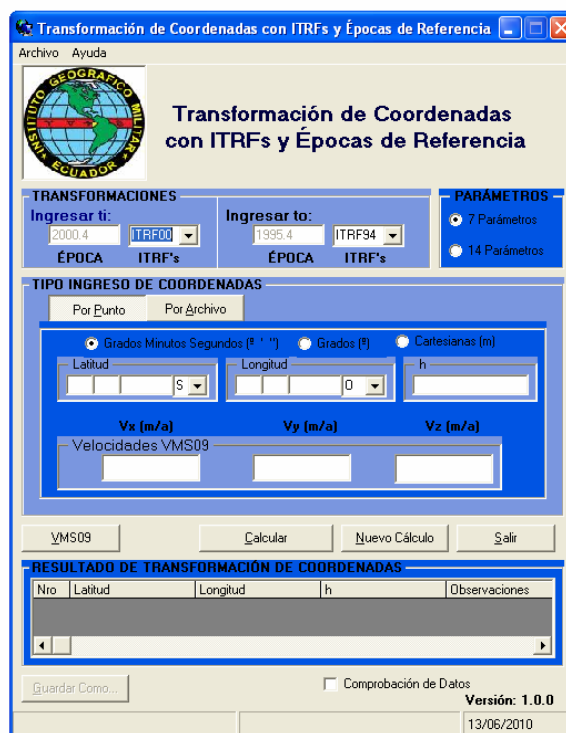


Figura. 5. Pantalla principal del programa

## 7. Ingreso de Transformaciones.

Dentro del programa “Transformación de Coordenadas con ITRF's y Épocas de Referencia utilizando 7 y 14 parámetros de transformación” existen varias opciones

para la transformación de coordenadas. Los ITRFs que se han considerado para este programa son: **ITRF94** (época de referencia 1995.4), **ITRF00** (época de referencia 2000.4), **ITRF05** (época de referencia abierta para que el usuario la ingrese), **IGS05** (época de referencia abierta para que el usuario la ingrese) y **Nuevo** (en esta opción se debe ingresar tanto los parámetros de transformación del nuevo ITRF como la época de referencia que requiera el usuario).

- El usuario debe escoger los parámetros de transformación, dependiendo de sus necesidades. Los 7 parámetros se refieren a tres traslaciones, tres rotaciones y un factor de escala y los 14 parámetros son los siete anteriores con sus respectivas variaciones en el tiempo (ver figura 6).

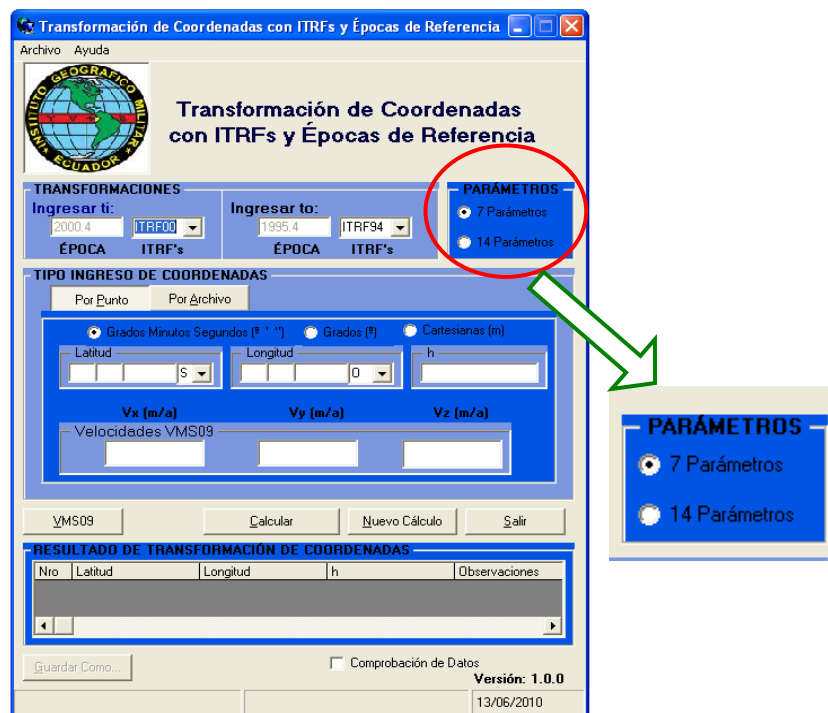


Figura. 6. Selección de parámetros de transformación

- Para el ingreso de las coordenadas es necesario que el usuario vaya a la opción **Ingresar ti**, en la cual va a escoger el ITRF en el que están referidas sus coordenadas y a colocar la misma época de referencia del rastreo en el caso de haber seleccionado **ITRF05** y el **IGS05**, ya que las demás opciones de ITRFs vienen con su época de referencia ya establecida (figura 7).



Figura. 7. Selección del ITRF de entrada y ti

- Una vez escogido el ITRF y época en que las coordenadas de ingreso se encuentran, se selecciona **Ingresar to**, el cual se refiere al ITRF y a la época de referencia que el usuario quiera que sus coordenadas se transformen, quiere decir que se escoge a que ITRF y época se quiere llevar a dichas coordenadas, como se muestra en la figura 8. De igual manera que en la opción **Ingresar ti**, existen los mismos ITRFs para realizar las transformaciones.



Figura. 8. Selección del ITRF de entrada y to

## 8. Ingreso de Coordenadas POR PUNTO

- Una vez escogida la opción de transformación, se escoge el tipo de ingreso de coordenadas, estas pueden ser coordenadas geodésicas *latitud*, *longitud* en **grados minutos segundos** ( $^{\circ} \prime \prime$ ) y *h* en metros (figura 9).

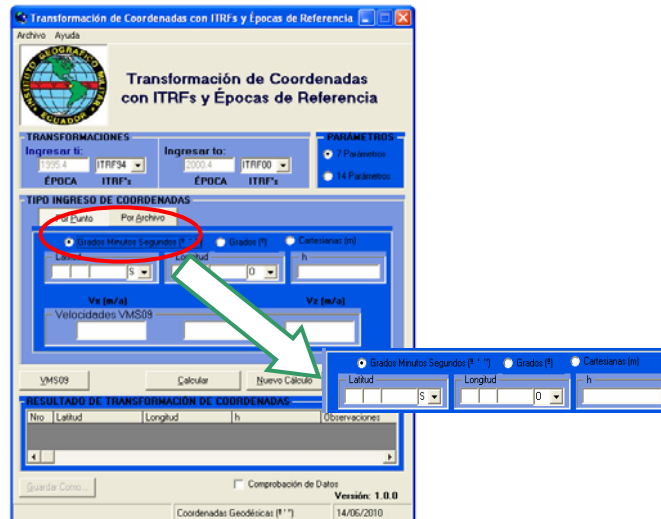


Figura. 9. Selección del tipo de ingreso de coordenadas cartesianas

- Otro tipo de ingreso es coordenadas geodésicas *latitud*, *longitud* en **grados** ( $^{\circ}$ ) y *h* en metros. (figura 10).

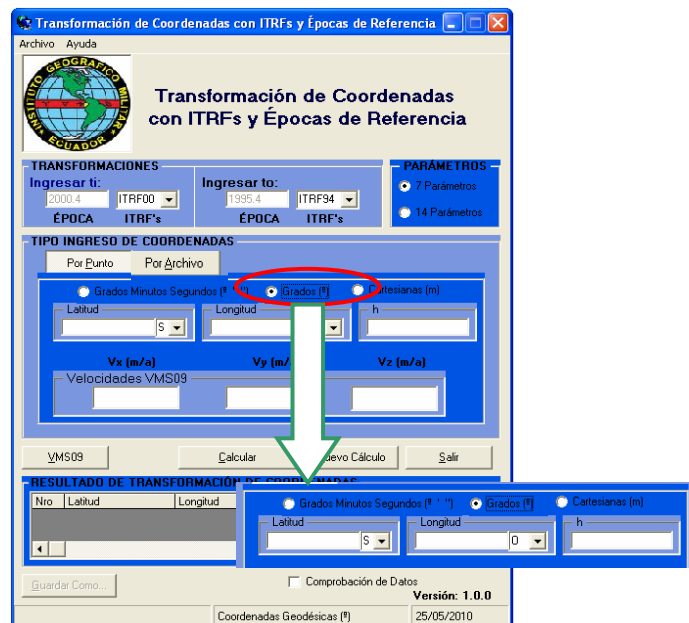


Figura. 10. Selección del tipo de ingreso de coordenadas geodésicas en grados

- La última opción es el ingreso de coordenadas **Cartesianas X, Y, Z** en metros (figura 11).

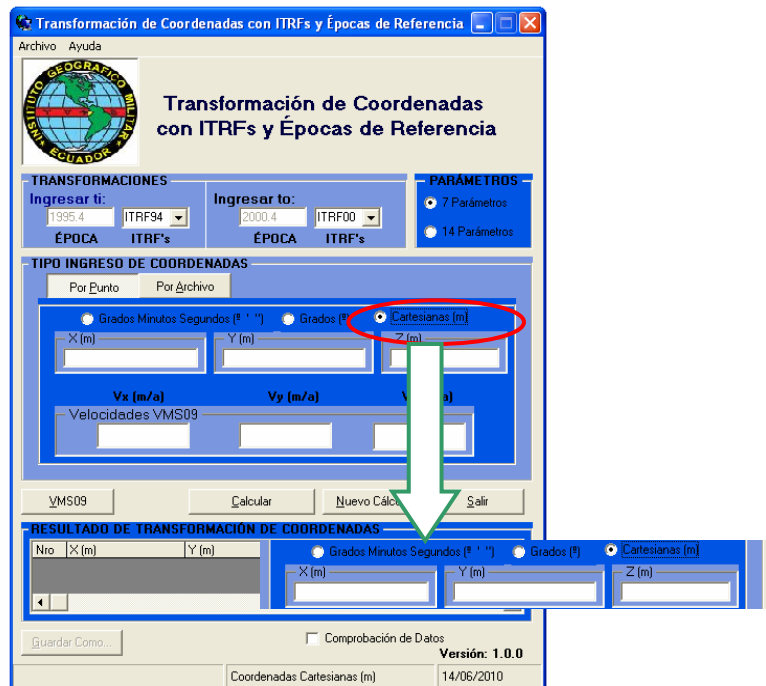


Figura. 11. Selección del tipo de ingreso de coordenadas cartesianas

9. Se ingresa las coordenadas dependiendo de la opción que se haya escogido. Si escogió el ingreso en coordenadas geodésicas es necesario tener en cuenta la ubicación geográfica como se ve en la figura 12. En *latitud*: Norte (signo+), Sur (signo-) y en *Longitud*: Este (signo+), Oeste (signo-).

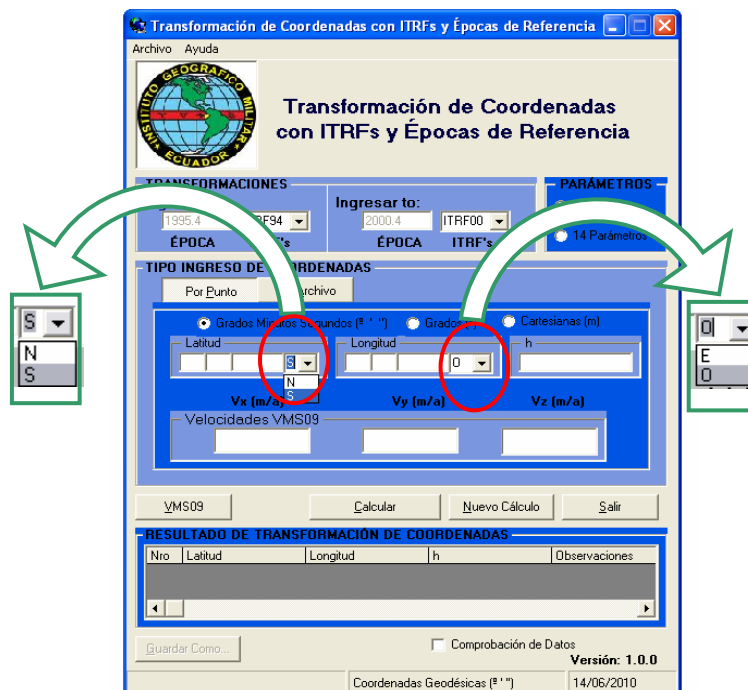


Figura. 12. Selección de ubicación geográfica

- Si escoge la opción de coordenadas **Cartesianas**, simplemente ingresa las coordenadas en **X, Y** y **Z** en metros, verificando los signos de cada coordenada para evitar errores en la transformación (ver figura 13).



Figura. 13. Transformación con coordenadas cartesianas

## 10. Ingreso de Velocidades.

- Después de la revisión de las coordenadas, se debe ingresar las velocidades de cada coordenada. Si se desconoce las velocidades, el usuario las puede calcular mediante el programa VMS09 (Drewes y Heidbach 2009), el cual se lo puede utilizar al hacer clic en el botón **VMS09** (ver figura 14).

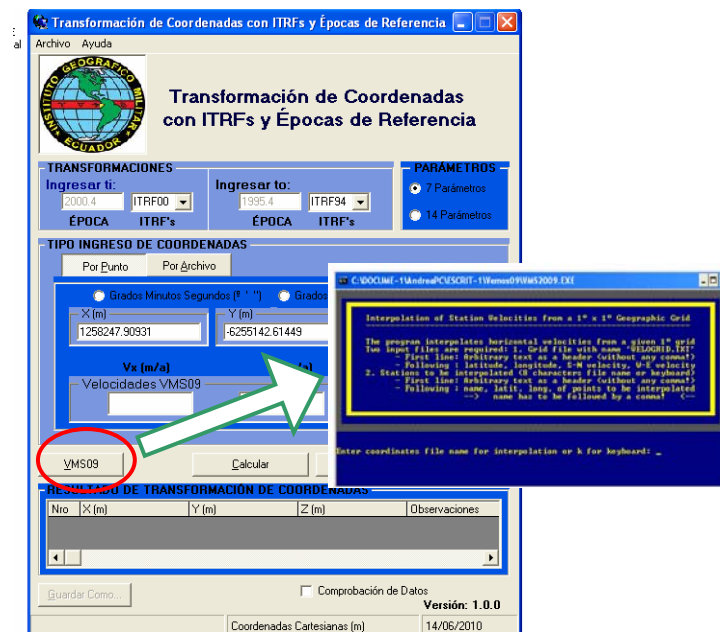


Figura. 14. Programa VMS09



- Para calcular las velocidades con el VMS09, es necesario primeramente escoger la opción del ingreso de las coordenadas, se tecleará la letra **k** para que pueda ingresar las coordenadas por el teclado (ver figura 15), y se pulsará **Enter**.

```

C:\DOCUME~1\AndreaPC\ESCRIT-1\Wemos09\VMS2009.EXE
-----
Interpolation of Station Velocities from a 1° x 1° Geographic Grid
-----
The program interpolates horizontal velocities from a given 1° grid
Two input files are required: 1. Grid file with name 'UELOGRID.TXT'
- First line: Arbitrary text as a header (without any comma!)
- Following : latitude, longitude, S-N velocity, W-E velocity
2. Stations to be interpolated (8 characters file name or keyboard)
- First line: Arbitrary text as a header (without any comma!)
- Following : name, latit. long. of points to be interpolated
              --> name has to be followed by a comma! <--

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

Figura. 15. Tipo de ingreso de coordenadas al VMS09

- Luego se dará nombre al archivo que contendrá las velocidades calculadas en el programa. En el ejemplo se puso **estacion**, como nombre al archivo (ver figura 16).

```

C:\DOCUME~1\AndreaPC\ESCRIT-1\Wemos09\VMS2009.EXE
-----
Interpolation of Station Velocities from a 1° x 1° Geographic Grid
-----
The program interpolates horizontal velocities from a given 1° grid
Two input files are required: 1. Grid file with name 'UELOGRID.TXT'
- First line: Arbitrary text as a header (without any comma!)
- Following : latitude, longitude, S-N velocity, W-E velocity
2. Stations to be interpolated (8 characters file name or keyboard)
- First line: Arbitrary text as a header (without any comma!)
- Following : name, latit. long. of points to be interpolated
              --> name has to be followed by a comma! <--

Enter coordinates file name for interpolation or k for keyboard: k
Enter file name for output of the interpolated point velocities: estacion
  
```

Figura. 16. Nombre del archivo que guarda las velocidades calculadas en el VMS09

- A continuación se escribirá la palabra **encabezado**, que es el archivo que como su nombre lo indica, contiene el encabezado (ver figura 17) que se copiará al archivo donde se guardó las velocidades calculadas. Pulsar **Enter**.

```

C:\DOCUME~1\AndreaPC\ESCRIT~1\Vemos09\VMS2009.EXE

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

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

Enter coordinates file name for interpolation or k for keyboard: k
Enter file name for output of the interpolated point velocities: estacion
Enter heading text: encabezado_

```

Figura. 17. Archivo del encabezado

- Por último, se ingresa el **nombre del punto**, una coma (,), un espacio y las **coordenadas** del punto (latitud en  $\phi$ , y longitud en  $\lambda$ ) que deben estar en grados sexagesimales, como se muestra en la figura 18. Tomar en cuenta la ubicación geográfica, en latitud: **Norte** (signo+), **Sur** (signo-) y en Longitud: **Este** (signo+), **Oeste** (signo-).

```

C:\DOCUME~1\AndreaPC\ESCRIT~1\Vemos09\VMS2009.EXE

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

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

Enter coordinates file name for interpolation or k for keyboard: k
Enter file name for output of the interpolated point velocities: estacion
Enter heading text: encabezado
Enter station, phi lambda (stop with station=END): lata, -0.813951 -78.626497

```

Figura. 18. Ingreso de las coordenadas al VMS09

- Se pulsa **Enter**, se calcula las velocidades de las coordenadas ingresadas, las cuales aparecen en la pantalla, debajo de las coordenadas ingresadas como se ve en la figura 19.

```

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

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

Enter coordinates file name for interpolation or k for keyboard: k
Enter file name for output of the interpolated point velocities: estacion
Enter heading text: encabezado
Enter station, phi lambda (stop with station=END): lata, -0.813951 -78.626497
lata -0.814 -78.626 0.0095 0.0053 0.0052 0.0009 0.0095 4
Enter station, phi lambda (stop with station=END):

```

Figura. 19. Cálculo de las velocidades en el VMS09

- Automáticamente se genera un archivo con el nombre que el usuario escribió, el cual se va a guardar en la carpeta que contiene al presente programa (figura 20).

```

ESTACION - Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
-----
Interpolated Station Velocities From 1 Degree * 1 Degree Velocity Field Grid
Geographic v(Lat), v(Long) and geocentric v(X), v(Y), v(Z) velocities [m/a]
encabezado
Interpolated from VEMOS2009 in ITRF2005 (Drewes and Heibach 2009)
Station Latitude Longitude v(Lat) v(Long) v(X) v(Y) v(Z) no
-----
lata -0.814 -78.626 0.0095 0.0053 0.0052 0.0009 0.0095 4

```

Figura. 20. Archivo con las velocidades calculadas

- Con las velocidades calculadas volvemos a programa principal e ingresamos las velocidades de las coordenadas, como se observa en la figura 21.

Transformación de Coordenadas con ITRFs y Épocas de Referencia

TRANSFORMACIONES  
 Ingresar to: 2000.4 ITRF00 Ingresar to: 1995.4 ITRF94  
 ÉPOCA ITRF's ÉPOCA ITRF's

PARÁMETROS  
 7 Parámetros  
 14 Parámetros

TIPO INGRESO DE COORDENADAS  
 Por Punto Por Archivo

Grados Minutos Segundos (° ' ") Grados (°) Cartesianas (m)

X (m) Y (m) Z (m)  
 1268247.99991 -6295142.61449 50040.82058

Velocidades VMS09  
 Vx (m/a) Vy (m/a) Vz (m/a)  
 0.0052 0.0009 0.0095

VMS09 Calcular Nuevo Cálculo Salir

RESULTADO DE TRANSFORMACIÓN DE COORDENADAS  
 Nro X (m) Y (m) Z (m) Observaciones

Guardar Como... Comprobación de Datos Versión: 1.0.0  
 Coordenadas Cartesianas (m) 14/06/2010

Figura. 21. Ingreso de las velocidades

- Una vez verificados todos los datos ingresados que son necesarios para la transformación, se da doble clic en **Calcular** (ver figura 22).

The screenshot shows the software interface for coordinate transformation. The title bar reads 'Transformación de Coordenadas con ITRFs y Épocas de Referencia'. The main window contains several sections:

- TRANSFORMACIONES:** Includes 'Ingresar ti:' (2000.4) and 'Ingresar to:' (1995.4) with dropdown menus for 'ÉPOCA' and 'ITRF's'.
- PARÁMETROS:** Shows '7 Parámetros' and '14 Parámetros' options.
- TIPO INGRESO DE COORDENADAS:** Offers 'Por Punto' and 'Por Archivo' options.
- Input Fields:** Includes radio buttons for 'Grados Minutos Segundos (° ' ")', 'Grados (°)', and 'Cartesianas (m)'. Below are fields for X (m), Y (m), and Z (m), and velocity fields Vx (m/a), Vy (m/a), and Vz (m/a).
- Buttons:** 'Calcular' is highlighted with a red circle. Other buttons include 'VM509', 'Nuevo Cálculo', and 'Salir'.
- RESULTADO DE TRANSFORMACIÓN DE COORDENADAS:** A table with columns for 'No', 'X (m)', 'Y (m)', 'Z (m)', and 'Observaciones'.
- Footer:** 'Versión: 1.0.0' and 'Coordenadas Cartesianas (m) 14/06/2010'.

Figura. 22. Cálculo de transformaciones

- Los resultados aparecen en la casilla **Resultado de Transformación de Coordenadas** (figura 23).

This screenshot shows the same software interface as Figure 22, but with the results of the transformation displayed in the 'RESULTADO DE TRANSFORMACIÓN DE COORDENADAS' table. The 'Calcular' button is no longer highlighted.

The table contains the following data:

No	X (m)	Y (m)	Z (m)	Observaciones
1	1258247.89196228	6259142.61449	-90040.82058	

The table is highlighted with a red circle. The status bar at the bottom indicates 'Cálculo de ITRF00 a ITRF94' and 'Coordenadas Cartesianas (m) 14/06/2010'.

Figura. 23. Resultado de la transformación

- Si se activa la opción **Comprobación de Datos** y se hace clic otra vez en **Calcular**, el programa realiza los cálculos de “regreso”, esto quiere decir que las coordenadas resultantes automáticamente se ingresan como coordenadas de iniciales, al igual

que el ITRF y la época de referencia. Con este “regreso” el usuario puede comprobar que el modelo matemático aplicado en el programa esta dando buenos resultados, ya que puede darse cuenta las coordenadas del nuevo resultado son iguales a las que inicialmente ingresó (figura 24).

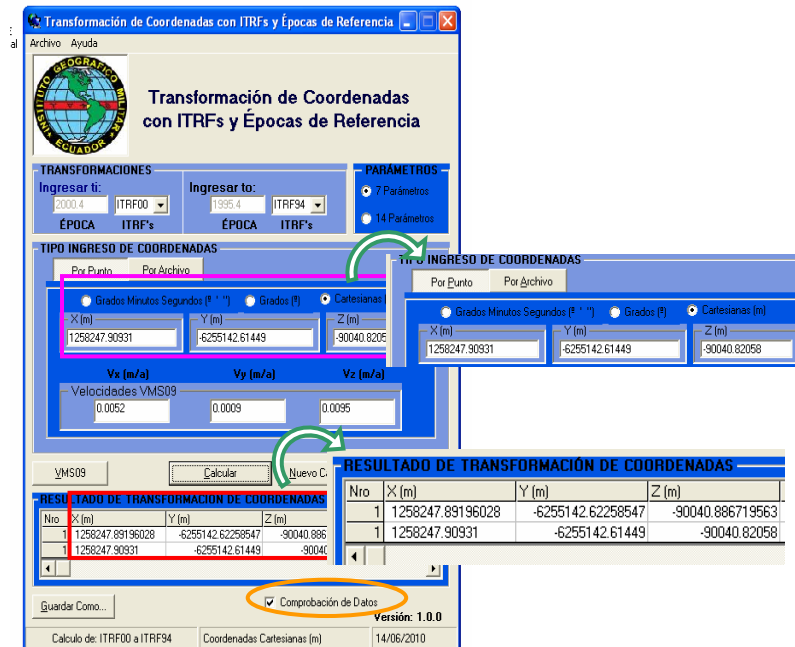


Figura. 24. Comprobación de Datos.

## 11. Ingreso de coordenadas POR ARCHIVO

- Una vez escogida la opción de transformación, se escoge el tipo de ingreso de coordenadas, estas pueden ser coordenadas geodésicas *latitud, longitud* en **grados minutos segundos** ( $^{\circ} \prime \prime$ ) y *h* en metros, dependiendo de que tipo de coordenadas el usuario dispone para realizar la transformación, ver figura 25.



Figura. 25. Ingreso de coordenadas por Archivo.

- Los archivos para las transformaciones se deben cargar desde el botón **Abrir Archivo** (ver figura 26) y el usuario puede buscar el archivo deseado para realizar la transformación. Se debe tomar en cuenta que el archivo a transformar debe estar de acuerdo con la selección que se ha hecho para el ingreso de las coordenadas.

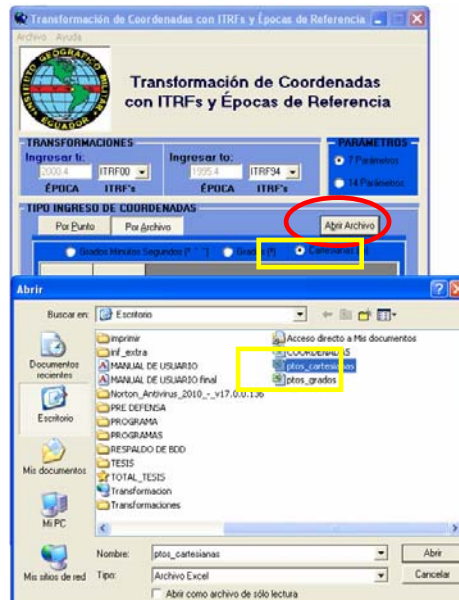


Figura. 26. Archivo para ser transformado.

- Los archivos que se cargarán para realizar las transformaciones, deben seguir el formato de las plantillas que se muestran en las figuras 27, 28 y 29, para no tener problemas al momento de realizar las transformaciones requeridas. Dichas plantillas se encuentran en la carpeta donde se encuentra el programa de transformación entre ITRFs.

PUNTO	Época inicial	Latitud ( $\phi$ )					Longitud ( $\lambda$ )					Época final	VELOCIDADES			
Nombre	ITRF	ti	Grados	Minutos	Segundos	N/S	Grados	Minutos	Segundos	E/O	Altura Elip	ITRF	to	Vx	Vy	Vz

Figura. 27. Plantilla para el ingreso de coordenadas en Grados, Minutos y Segundos.

PUNTO	Época inicial	Latitud ( $\phi$ )			Longitud ( $\lambda$ )			Época final	VELOCIDADES			
Nombre	ITRF	ti	Grados	N/S	Grados	E/O	Altura Elipsoidal	ITRF	to	Vx	Vy	Vy

Figura. 28. Plantilla para el ingreso de coordenadas en Grados.

PUNTO	Época inicial	COORDENADAS CARTESIANAS				Época final	VELOCIDADES			
Nombre/Cód	ITRF	ti	X (m)	Y (m)	Z (m)	ITRF	to	Vx	Vy	Vy

Figura. 29. Plantilla para el ingreso de coordenadas en Cartesianas.

- Luego de ingresar el archivo correctamente, se hace clic en el botón Calcular, como se muestra en la figura 30.



Figura. 30. Cálculo de las coordenadas por Archivo.

- Se calculan las transformaciones con los datos de entrada del archivo requerido. Los resultados de pueden observar en la casilla **Resultado de Transformación de Coordenadas** (figura 31).



Figura. 31. Resultados de las transformaciones.

- Si se activa la opción **Comprobación de Datos** y se hace clic otra vez en **Calcular**, el programa realiza los cálculos de “regreso”, esto quiere decir que las coordenadas resultantes automáticamente se ingresan como coordenadas de iniciales, al igual que el ITRF y la época de referencia. Con este “regreso” el usuario puede comprobar que el modelo matemático aplicado en el programa esta dando buenos resultados, ya que puede darse cuenta las coordenadas del nuevo resultado son iguales a las que inicialmente ingresó (figura 32).



Figura. 32. Resultados de las transformaciones con comprobación de Datos.

12. Con los resultados visibles se activa el botón **Guardar Como..** y se puede guardar en una hoja Excel las transformaciones realizadas como se observa en al figura 33. También se puede guardar los resultados haciendo clic en la pestaña **Archivo / Guardar Como..**

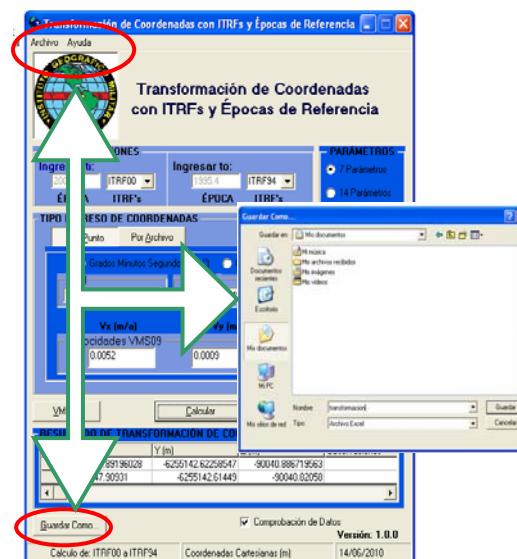


Figura. 33. Guardar resultados en Excel



13. Existe la opción de **Nuevo Cálculo** (ver figura 34), el cual limpia la pantalla y el usuario pueda realizar nuevos cálculos.



Figura. 34. Nuevo Cálculo

14. En la figura 35, se muestra la pestaña **Ayuda**, se puede encontrar el Manual de Usuario.

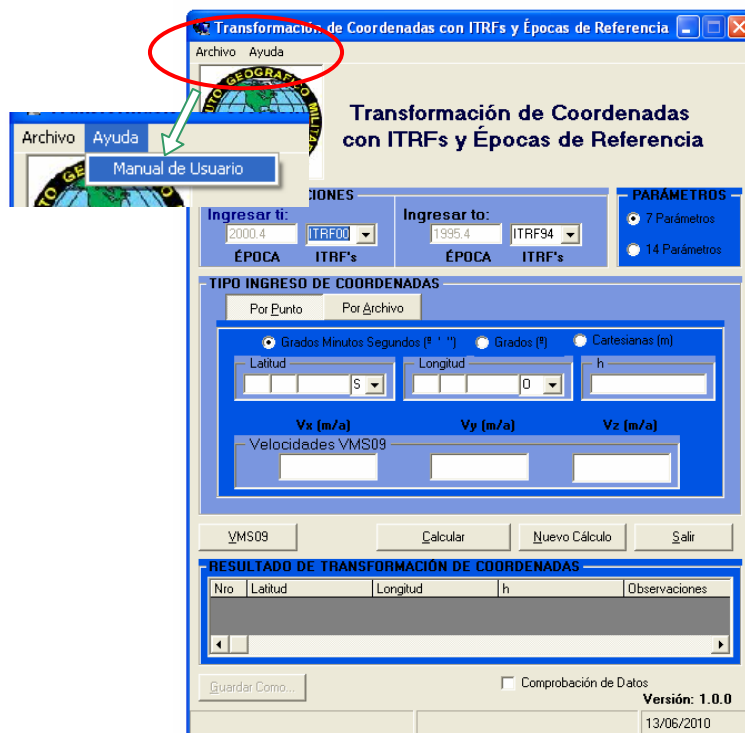
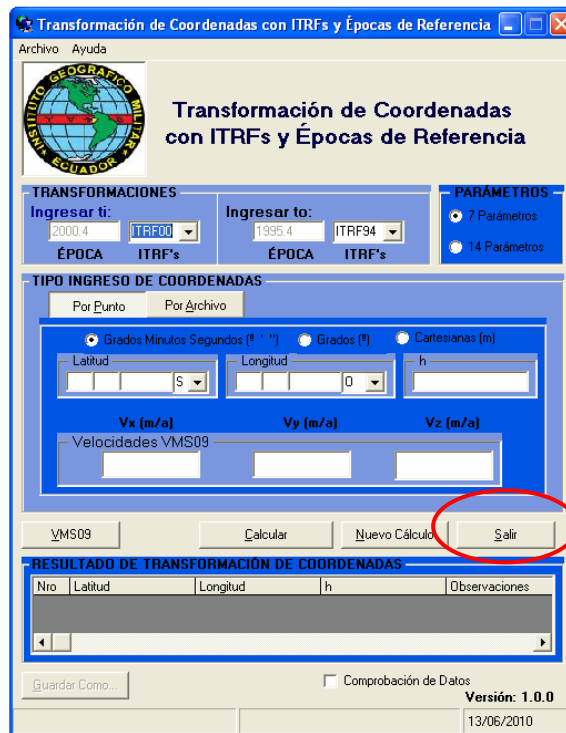


Figura. 35. Manual de usuario

15. La opción **Salir**, como se muestra en la figura 36, es para salir del programa.



**Figura. 36. Opción de salida del programa**

## ANEXO C

### CÓDIGO FUENTE DE LOS PROGRAMAS

#### C.1. Código del Programa: Transformación de Coordenadas entre PSAD56 y SIRGAS95.

##### FORMULARIO PRINCIPAL

```

Dim h As Double 'altura elipsoidal
Dim fi As Double 'latitud
Dim lambda As Double 'longitud
Dim Signo As Integer 'signo de los parámetros
Dim Xt As Double 'coordenada X en cartesiana
Dim Yt As Double 'coordenada Y en cartesiana
Dim Zt As Double 'coordenada Z en cartesiana

Dim X As Double 'coordenada X en cartesiana
Dim Y As Double 'coordenada Y en cartesiana
Dim Z As Double 'coordenada Z en cartesiana
Dim Vx As Double 'velocidad en X
Dim Vy As Double 'velocidad en Y
Dim Vz As Double 'velocidad en Z

Dim ReCalc As Boolean 'Recalculo, aquí, las coordenadas de salida se vuelven de entrada

Dim o_Excel As Object 'variable para excel
Dim o_Libro As Object
Dim o_Hoja As Object

' Funcion para abrir el archivo desde Excel y procesar los puntos
Private Sub btAbrirArchivo_Click()
    AbreArchivo.ShowOpen ' Abrimos el dialog para buscar el archivo excel
    If Not AbreArchivo.FileName = "" Then " comprobamos que tenemos un archivo seleccionado
        If AbreArchivo.FilterIndex = 2 Then " Comprobamos que seleccionamos el archivo de tipo xls
            Call Excel_FlexGrid(AbreArchivo.FileName, FlexArchivo, "Hoja1$")
        End If
    End If
End Sub

' Funcion para llamar al programa externo EGM96
Private Sub btEgm06_Click()
    Dim Vms As Double

    If Dir$(App.Path & "\Geoidal", vbDirectory) <> "" Then "Comprobamos que la carpeta del programa EGM96 se encuentre en la
maquina
        Vms = Shell("explorer.exe root = " & App.Path & "\Geoidal", vbNormalFocus) ' Ejecutamos el programa EGM96
    Else
        bg = MsgBox("El programa EGM96 no existe", vbExclamation, "ATENCION") 'mensaje q se despliega si no encuentra el
archivo q contiene al EGM96
    End If
End Sub

' Funcion para limpiar todo los textos introducidos y llenar unos nuevos
Private Sub btNuevo_Click()
    Limpia_Resultados
    Limpia_Txt_Punto 'limpia todos los textos
End Sub

' Funcion para salir del programa
Private Sub btSalir_Click()
    End
End Sub

```

**' Funcion de calcular la conversion**

Private Sub Command2\_Click()

resp = 0

**' Comprobamos que los datos este introducidos correctamente****'comprobacion de ingreso de coordenadas en grados, minutos, segundos**

If (txt\_Fi\_Grados.Text = "" Or txt\_Fi\_Min.Text = "" Or txt\_Lbd\_Seg.Text = "" Or txt\_Lbd\_Grados.Text = "" Or txt\_Lbd\_Min.Text = "" Or txt\_Lbd\_Seg.Text = "") And opPunto.Value = True And opGraMinSeg.Value Then

resp = MsgBox("Error falta ingreso de coordenadas", vbOKOnly + vbExclamation, "Error") **'mensaje q se despliega si los datos no se ingresan**

End If

**'comprobacion de ingreso de coordenadas en grados**

If (txt\_Fi.Text = "" Or txt\_Lambda.Text = "") And opGrados.Value And opPunto.Value Then

resp = MsgBox("Error falta ingreso de coordenadas", vbOKOnly + vbExclamation, "Error") **'mensaje q se despliega si los datos no se ingresan**

End If

**'comprobacion de ingreso de datos**

If (txt\_Hn.Text = "" Or cboNS.Text = "" Or cbEO.Text = "") And opGrados.Value And opPunto.Value Then

resp = MsgBox("Error falta ingreso de coordenadas", vbOKOnly + vbExclamation, "Error") **'mensaje q se despliega si los datos no se ingresan**

End If

**'condiciones de los datos de ingreso**

If opGrados.Value And Val(txt\_Fi.Text) &gt; 90 Then

resp = MsgBox("El valor de Latitud no debe ser mayor a 90°", vbOKOnly + vbExclamation, "Error") **'mensaje q se despliega si los datos no se ingresan correctamente**

End If

**'condiciones de los datos de ingreso**

If opGrados.Value And Val(txt\_Lambda.Text) &gt; 180 Then

resp = MsgBox("El valor de Longitud no debe ser mayor a 180°", vbOKOnly + vbExclamation, "Error") **'mensaje q se despliega si los datos no se ingresan correctamente**

End If

**'condiciones de los datos de ingreso**

If opGraMinSeg.Value And Val(txt\_Fi\_Grados.Text) &gt; 90 Then

resp = MsgBox("El valor de Grados de Latitud no debe ser mayor a 90°", vbOKOnly + vbExclamation, "Error") **'mensaje q se despliega si los datos no se ingresan correctamente**

End If

**'condiciones de los datos de ingreso**

If opGraMinSeg.Value And Val(txt\_Fi\_Min.Text) &gt; 60 Then

resp = MsgBox("El valor de minutos de Latitud no debe ser mayor a 60", vbOKOnly + vbExclamation, "Error") **'mensaje q se despliega si los datos no se ingresan correctamente**

End If

**'condiciones de los datos de ingreso**

If opGraMinSeg.Value And Val(txt\_Lbd\_Grados.Text) &gt; 90 Then

resp = MsgBox("El valor de Grados de Longitud no debe ser mayor a 90°", vbOKOnly + vbExclamation, "Error") **'mensaje q se despliega si los datos no se ingresan correctamente**

End If

**'condiciones de los datos de ingreso**

If opGraMinSeg.Value And Val(txt\_Lbd\_Min.Text) &gt; 60 Then

resp = MsgBox("El valor de minutos de Longitud no debe ser mayor a 60", vbOKOnly + vbExclamation, "Error") **'mensaje q se despliega si los datos no se ingresan correctamente**

End If

**'Si todo se encuentra bien realizamos la transformacion**

If resp = 0 Then

**" Tipo de tranformacion**

If opPsadSargas.Value Then ' PSAD56 a SIRGAS95

**" parámetros geométricos del Elipsoide HAYFORD**a = 6378388 **'semieje mayor**f = 1 / 297 **'achatamiento**

Else

**' SIRGAS95 a PSAD56****" parámetros geométricos Elipsoide GRS80**a = 6378137 **'semieje mayor**f = 1 / 298.257222101 **'achatamiento**

End If

```

ext = 2 * f - f ^ 2 'formula de la primera excentricidad

If opCartesianas.Value Then "Para Catersianas"
  X = Val(Txt_X)
  Y = Val(Txt_Y)
  Z = Val(txt_Hn)
'sustitusion de variables para realizar calculos internos
  Xt = X
  Yt = Y
  Zt = Z

Else
If opGraMinSeg.Value Then "Para Geodesicas Grados Minutos y Segundos"
  fi = Val(txt_Fi_Grados) + Val(txt_Fi_Min) / 60 + Val(txt_Fi_Seg) / 3600
  lambda = Val(txt_Lbd_Grados) + Val(txt_Lbd_Min) / 60 + Val(txt_Lbd_Seg) / 3600
  If opPsadSirgas.Value Then
    h = Val(txt_OndGeo) + Val(txt_Hn)
  Else
    h = Val(txt_Hn)
  End If
  If cboNS = "S" Then
    fi = fi * (-1)
  End If
  If cbEO = "O" Then
    lambda = lambda * (-1)
  End If
Else "Para Geodesicas Grados"
  fi = Val(txt_Fi)
  lambda = Val(txt_Lambda)
  If opPsadSirgas.Value Then
    h = Val(txt_OndGeo) + Val(txt_Hn) 'suma de la altura nivelada con la ondulacion geoidal ingresada
  Else
    h = Val(txt_Hn)
  End If
  If cboNS = "S" Then 'condicion, si es norte es positivo, si es sur es negativo
    fi = fi * (-1)
  End If
  If cbEO = "O" Then 'condicion, si es este es positivo, si es oeste es negativo
    lambda = lambda * (-1)
  End If
End If

'Convertir los valores de fi y lamba en Radianes
fi = (fi * 3.1415926535898) / 180
lambda = (lambda * 3.1415926535898) / 180

n = a / (Sqr(1 - (ext * Sin(fi) ^ 2))) 'formula del radio de curvatura de la primera vertical

'formulas de conversión de coordenadas geodésicas a cartesianas
'h=he; fi=fi; lambda=la'
Xt = (n + h) * Cos(fi) * Cos(lambda)
Yt = (n + h) * Cos(fi) * Sin(lambda)
Zt = (n * (1 - ext) + h) * Sin(fi)

End If

Limpia_Resultados 'Limpiamos los resultados
'Iniciamos valores de la comprobacion y los numeros de calculos a realizar
ReCalc = False
NroCalculo = 1

'Transformacion de epoca de referencia'
Do
'de PSAD56 a SIRGAS95
If opPsadSirgas.Value Then
  Signo = 1
Else
  Signo = -1
End If

If ReCalc Then 'en el recalcu el signo de los parámetros se vuelve contrario
  Signo = Signo * -1
  X = Xt
  Y = Yt

```

```

Z = Zt
End If

" Realizamos el calculo de transformacion
Calculo_PsAD_SIRGAS

" Tipo de tranformacion
If opPsadSirgas.Value Then
  ' parámetros geométricos Elipsoide GRS80
  a = 6378137 ' semieje mayor
  f = 1 / 298.257222101 ' achatamiento
Else
  " parámetros geométricos Elipsoide HAYFORD
  a = 6378388
  f = 1 / 297
End If

'formulas de conversión de coordenadas cartesianas a geodésicas
ext = 2 * f - f ^ 2
b = a * (1 - f)
ext2 = (a ^ 2 - b ^ 2) / b ^ 2
p = Sqr(Xt ^ 2 + Yt ^ 2)
te = Atn((Zt * a) / (p * b))

'//// respuesta'
fi = Atn((Zt + ext2 * b * Sin(te) ^ 3) / (p - ext * a * Cos(te) ^ 3))
lambda = Atn(Yt / Xt)
n = a / (Sqr(1 - (ext * Sin(fi) ^ 2)))
he = (p / Cos(fi)) - n

" conversión de los resultados a tipo seleccionado inicialmente
If opGraMinSeg.Value Then " Para el caso de Geodesicas Grados, Minutos y Segundos
  fi = (fi * 180) / 3.1415926535898
  lambda = (lambda * 180) / 3.1415926535898
  'he = (p / Cos(fi)) - n
  FiGR = fi
  If fi < 0 Then
    FiMin = ((fi - Fix(fi)) * 60) * -1
  Else
    FiMin = (fi - Fix(fi)) * 60
  End If
  FiSeg = (FiMin - Fix(FiMin)) * 60

  lbdGR = lambda
  If lambda < 0 Then
    lbdMin = ((lambda - Fix(lambda)) * 60) * -1
  Else
    lbdMin = (lambda - Fix(lambda)) * 60
  End If
  lbdSeg = (lbdMin - Fix(lbdMin)) * 60

  fiii = Fix(fi) & "" & fi - Fix(fi) & ""
  ' número de decimales para el caso de grados, minutos y segundos
  If Not ReCalc Then
    flexresultados.AddItem NroCalculo & vbTab & Fix(FiGR) & "" & Fix(FiMin) & "" & Round(FiSeg, 4) & vbTab &
    Fix(lbdGR) & "" & Fix(lbdMin) & "" & Round(lbdSeg, 5) & vbTab & Round(he, 9) & vbTab & ""
  Else
    flexresultados.AddItem NroCalculo & vbTab & Fix(FiGR) & "" & Fix(FiMin) & "" & Round(FiSeg, 4) & vbTab &
    Fix(lbdGR) & "" & Fix(lbdMin) & "" & Round(lbdSeg, 4) & vbTab & Round(he, 4) & vbTab & ""
  End If
  Elseif opGrados.Value Then " Para el caso de Geodesicas Grados
    fi = (fi * 180) / 3.1415926535898
    lambda = (lambda * 180) / 3.1415926535898
    'he = (p / Cos(fi)) - n
  ' número de decimales para el caso de grados
  If Not ReCalc Then
    flexresultados.AddItem NroCalculo & vbTab & Round(fi, 9) & vbTab & Round(lambda, 9) & vbTab & Round(he, 4) & vbTab
    & ""
  Else
    flexresultados.AddItem NroCalculo & vbTab & Round(fi, 9) & vbTab & Round(lambda, 9) & vbTab & Round(he, 4) & vbTab
    & ""
  End If
  Else
" Para el caso de cartesianas solo mostramos los resultados
  If Not ReCalc Then ' número de decimales para el caso de cartesianas

```

```

flexresultados.AddItem NroCalculo & vbTab & Str(Round(Xt, 4)) & vbTab & Str(Round(Yt, 4)) & vbTab & Str(Round(Zt, 4))
& vbTab & ""
Else
flexresultados.AddItem NroCalculo & vbTab & Str(Round(Xt, 4)) & vbTab & Str(Round(Yt, 4)) & vbTab & Str(Round(Zt, 4))
& vbTab & ""
End If
End If

If chkComprueba.Value = 1 Then 'para verificar si es necesario la comprobacion (el recalcu o regreso de la transformaci3n)
If ReCalc Then
ReCalc = False
Else
ReCalc = True
End If
End If
NroCalculo = NroCalculo + 1
Loop While ReCalc = True 'bucle para realizar las transformaciones, en caso de tener la omprobaci3n vuelve ejecuta todo

If flexresultados.Rows > 1 Then
ExportarExcel.Enabled = True
GuardarComo.Enabled = True
End If
End If

End Sub

'Funcion principal donde realiza las transformaciones
Private Sub Calculo_PSAD_SIRGAS()
'Valores de 7 parametros de PSAD56 a SIRGAS95
Tx = -60.31 * Signo
Ty = 245.935 * Signo
Tz = 31.008 * Signo
Rx = -0.0000597484 * Signo
Ry = -0.0000182048 * Signo
Rz = 0.0000357308 * Signo
d = 0.000000447 * Signo
'Modelo de Helmert
Xx = Tx + (1 + d) * ((1 * Xt) + (Rz * Yt) + (-Ry * Zt))
Yy = Ty + (1 + d) * ((-Rz * Xt) + (1 * Yt) + (Rx * Zt))
Zz = Tz + (1 + d) * ((Ry * Xt) + (-Rx * Yt) + (1 * Zt))
Xt = Xx
Yt = Yy
Zt = Zz
End Sub

Private Sub Command3_Click()
AbreArchivo.ShowOpen
End Sub

'Funcion del boton que realiza la exportacion a un archivo de Excel
Private Sub ExportarExcel_Click()
DialGuardarExcel.ShowSave
If Not DialGuardarExcel.FileName = "" Then
If Exportar_Excel(DialGuardarExcel.FileName, flexresultados) Then
box = MsgBox(" Datos exportados en " & DialGuardarExcel.FileName, vbInformation)
End If
End If
End Sub

'Funcion que realiza la exportacion
Public Function Exportar_Excel(sOutputPath As String, FlexGrid As Object) As Boolean

On Error GoTo Error_Handler

Dim Fila As Long
Dim Columna As Long

'-- Crea el objeto Excel, el objeto workBook y el objeto sheet
Set o_Excel = CreateObject("Excel.Application")
Set o_Libro = o_Excel.Workbooks.Add
Set o_Hoja = o_Libro.Worksheets.Add

o_Hoja.cells(3, 1).Value = "Nro"
If opCartesianas.Value Then
o_Hoja.cells(3, 2).Value = "X (m)"

```

```

    o_Hoja.cells(3, 3).Value = "Y (m)"
    o_Hoja.cells(3, 4).Value = "Z (m)"
Else
    o_Hoja.cells(3, 2).Value = "Latitud"
    o_Hoja.cells(3, 3).Value = "Longitud"
    o_Hoja.cells(3, 4).Value = "h"
End If
o_Hoja.cells(3, 5).Value = "Observaciones"

' -- Bucle para Exportar los datos
With FlexGrid
    For Fila = 1 To .Rows - 1
        For Columna = 0 To .Cols - 1
            o_Hoja.cells(Fila + 3, Columna + 1).Value = .TextMatrix(Fila, Columna)
        Next
    Next
End With
o_Libro.Close True, sOutputPath
' -- Cerrar Excel
o_Excel.Quit
' -- Terminar instancias
Call Descargar(o_Excel, o_Libro, o_Hoja)
Exportar_Excel = True
Exit Function

' -- Controlador de Errores
Error_Handler:
' -- Cierra la hoja y el la aplicación Excel
If Not o_Libro Is Nothing Then: o_Libro.Close False
If Not o_Excel Is Nothing Then: o_Excel.Quit
Call Descargar(o_Excel, o_Libro, o_Hoja)
If Err.Number <> 1004 Then MsgBox Err.Description, vbCritical
End Function
'-----
' \\ -- Eliminar objetos para liberar recursos
'-----
Private Sub Descargar(o_Excel As Object, o_Libro As Object, o_Hoja As Object)
    If Not o_Excel Is Nothing Then Set o_Excel = Nothing
    If Not o_Libro Is Nothing Then Set o_Libro = Nothing
    If Not o_Hoja Is Nothing Then Set o_Hoja = Nothing
End Sub

Private Sub Form_Load()

    Limpia_Resultados
End Sub

'Limpia la tabla de resultados
Private Sub Limpia_Resultados()
    flexresultados.Clear
    If opCartesianas.Value Then
        flexresultados.FormatString = " Nro|X (m)|Y (m)|Z (m)|Observaciones" 'casilla donde se despliegan los resultados
    Else
        flexresultados.FormatString = " Nro|Latitud|Longitud|h|Observaciones"
    End If
    flexresultados.Rows = 1
    flexresultados.ColWidth(0) = 500
    flexresultados.ColWidth(1) = 1700
    flexresultados.ColWidth(2) = 1700
    flexresultados.ColWidth(3) = 1700
    flexresultados.ColWidth(4) = 2000

    ExportarExcel.Enabled = False
    GuardarComo.Enabled = False
End Sub

" Funcion del Menu Guardar Como que realiza la exportacion a un archivo de Excel
Private Sub GuardarComo_Click()
    DialGuardarExcel.ShowSave
    If Not DialGuardarExcel.FileName = "" Then
        If Exportar_Excel(DialGuardarExcel.FileName, flexresultados) Then
            box = MsgBox(" Datos exportados en " & DialGuardarExcel.FileName, vbInformation)
        End If
    End If
End Sub

```



**" Funcion para abrir el manual de usuario**

```
Private Sub Manual_Usuario_Click()
    Dim Vms As Double
    If Dir$(App.Path & "\Manual Usuario.pdf") <> "" Then
        Vms = Shell("rundll32.exe url.dll,FileProtocolHandler " & (App.Path & "\Manual Usuario.pdf"), vbNormalFocus)
    Else
        bg = MsgBox("El Manual de Usuario no existe", vbExclamation, "ATENCIÓN") 'mensaje q se despliega cuando no encuentra el manual de usuario
    End If
End Sub
```

**'limpia resultados en todos los txt**

```
Private Sub opArchivo_Click()
    Limpia_Resultados
    Limpia_Txt_Punto
    FlexArchivo.Visible = True
    btAbrirArchivo.Visible = True

    'txt_Fi_Grados.Visible = False
    'txt_Fi_Min.Visible = False
    'txt_Fi_Seg.Visible = False

    'txt_Lbd_Grados.Visible = False
    'txt_Lbd_Min.Visible = False
    'txt_Lbd_Seg.Visible = False

    'txt_Fi.Visible = False
    'txt_Lambda.Visible = False

    'txt_He.Visible = False
    'txt_OndGeo.Visible = False
    'txt_Val_he.Visible = False
    'fr_Ondulacion.Visible = False
    'lb_Ondulaciones.Visible = False
    'cboNS.Visible = False
    'cbEO.Visible = False
End Sub
```

**" Cuando es mediante cartesianas, deshabilita las demas casilla que no le corresponden**

```
Private Sub opCartesianas_Click()
    Limpia_Resultados
    Limpia_Txt_Punto
    txt_Fi_Grados.Visible = False
    txt_Fi_Min.Visible = False
    txt_Fi_Seg.Visible = False

    txt_Lbd_Grados.Visible = False
    txt_Lbd_Min.Visible = False
    txt_Lbd_Seg.Visible = False

    txt_Fi.Visible = False
    txt_Lambda.Visible = False
    cboNS.Visible = False
    cbEO.Visible = False

    Txt_X.Visible = True
    Txt_Y.Visible = True

    txt_OndGeo.Visible = False
    txt_Val_he.Visible = False
    lb_Ondulaciones.Visible = False
    fr_Fi.Caption = "X (m)"
    fr_Lambda.Caption = "Y (m)"
    fr_Hn.Caption = "Z (m)"
    StatusBar1.Panels.Item(2).Text = "Coordenadas Cartesianas (m)"
End Sub
```

**" Cuando es mediante Geodesicas Grados, deshabilita las demas casilla que no le corresponden**

```
Private Sub opGrados_Click()
    Limpia_Resultados
    Limpia_Txt_Punto
    Activa_Desactiva_txt False
    fr_Fi.Caption = "Latitud"
    fr_Lambda.Caption = "Longitud"
    If opPsadSargas Then
        lb_Ondulaciones.Visible = True
        txt_OndGeo.Visible = True
    End If
End Sub
```

```

    txt_Val_he.Visible = True
    fr_Hn.Caption = "Hn"
Else
    lb_Ondulaciones.Visible = False
    txt_OndGeo.Visible = False
    txt_Val_he.Visible = False
    fr_Hn.Caption = "h"
End If
    StatusBar1.Panels.Item(2).Text = "Coordenadas Geodésicas (°)"
End Sub

" Cuando es mediante Geodesicas Grados, Minutos y Segundos deshabilita las demas casilla que no le corresponden
Private Sub opGraMinSeg_Click()
    Limpia_Resultados
    Limpia_Txt_Punto
    Activa_Desactiva_txt True
    fr_Fi.Caption = "Latitud"
    fr_Lambda.Caption = "Longitud"
    If opPsadSirgas Then
        fr_Hn.Caption = "Hn"
        txt_OndGeo.Visible = True
        txt_Val_he.Visible = True
        lb_Ondulaciones.Visible = True

    Else
        lb_Ondulaciones.Visible = False
        txt_OndGeo.Visible = False
        txt_Val_he.Visible = False
        fr_Hn.Caption = "h"
    End If
    StatusBar1.Panels.Item(2).Text = "Coordenadas Geodésicas (° ' ")
End Sub

" funcion general para activar y desactivar textos
Private Sub Activa_Desactiva_txt(ByVal Bol As Boolean)
    txt_Fi_Grados.Visible = Bol
    txt_Fi_Min.Visible = Bol
    txt_Fi_Seg.Visible = Bol

    txt_Lbd_Grados.Visible = Bol
    txt_Lbd_Min.Visible = Bol
    txt_Lbd_Seg.Visible = Bol

    txt_Fi.Visible = Not Bol
    txt_Lambda.Visible = Not Bol

    Txt_X.Visible = False
    Txt_Y.Visible = False

    txt_Hn.Visible = True
    txt_OndGeo.Visible = True
    txt_Val_he.Visible = True
    lb_Ondulaciones.Visible = True
    cboNS.Visible = True
    cbEO.Visible = True
End Sub

" Limpia o borra todos los datos ingresados de los textos
Private Sub Limpia_Txt_Punto()
    txt_Fi_Grados.Text = ""
    txt_Fi_Min.Text = ""
    txt_Fi_Seg.Text = ""

    txt_Lbd_Grados.Text = ""
    txt_Lbd_Min.Text = ""
    txt_Lbd_Seg.Text = ""

    txt_Fi.Text = ""
    txt_Lambda.Text = ""

    txt_Hn.Text = ""
    txt_OndGeo.Text = ""
    txt_Val_he.Text = ""
    Txt_X.Text = ""
    Txt_Y.Text = ""
End Sub

```

```

" Funcion cuando se elige la opcion de PSAD56 a SIRGAS95
Private Sub opPsadSargas_Click()
    Limpia_Txt_Punto
    Limpia_Resultados
    If Not opCartesianas.Value Then
        txt_OndGeo.Visible = True
        txt_Val_he.Visible = True
        lb_Ondulaciones.Visible = True
    End If
    fr_Hn.Caption = "Z (m)"
    StatusBar1.Panels.Item(1).Text = "Ingreso de Coord. PSAD56"
End Sub

'-----
' \\ -- Función para leer los datos del Excel y cargarlos en el Flex
'-----
Private Sub Excel_FlexGrid(sPath As String, FlexGrid As Object, Optional sSheetName As String = vbNullString)

    Dim i As Long
    Dim n As Long

    On Error GoTo error_sub
    'Me.MousePointer = vbHourglass
    '-- crea nueva instancia de Excel
    Set o_Excel = CreateObject("Excel.Application")
    'obj_Excel.Visible = True

    '-- Abrir el libro
    Set o_Libro = o_Excel.Workbooks.Open(sPath)
    '-- referencia la Hoja, por defecto la hoja activa
    If sSheetName = vbNullString Then
        Set o_Hoja = o_Libro.ActiveSheet
    Else
        Set o_Hoja = o_Libro.Sheets(1)'sSheetName)
    End If

    Filas = 1
    Do While Not o_Hoja.Cells(Filas, 1).Value = ""
        vlor_excel = o_Hoja.Cells(Filas, 1).Value
        Filas = Filas + 1
    Loop

    '-- Setear Grid
    With FlexArchivo
        '-- Especificar la cantidad de filas y columnas
        .Cols = 14 'Columns
        .Rows = Filas - 1
        '-- Recorrer las filas del FlexGrid para agregar los datos
        For i = 0 To .Rows - 1
            '-- Establecer la fila activa
            .Row = i
            '-- Recorrer las columnas del FlexGrid
            For n = 1 To .Cols - 1
                '-- Establecer columna activa
                .Col = n
                '-- Asignar a la celda del Flex el contenido de la celda del excel
                .Text = o_Hoja.Cells(i + 2, n).Value
            Next
        Next
    End With
    '-- Cerrar libro
    o_Libro.Close True, sOutputPath
    '-- Cerrar Excel
    o_Excel.Quit
    '-- Descargar objetos para liberar recursos
    Call Descargar(o_Excel, o_Libro, o_Hoja)
'-- Errores
Exit Sub
error_sub:
    MsgBox Err.Description
    If Not o_Libro Is Nothing Then: o_Libro.Close False
    If Not o_Excel Is Nothing Then: o_Excel.Quit

    Call Descargar(o_Excel, o_Libro, o_Hoja)
    Me.MousePointer = vbDefault

```

End Sub

**" Funcion cuando se elige la opcion de SIRGAS95 a PSAD56**

```
Private Sub opSirgasPsad_Click()
    Limpia_Txt_Punto
    Limpia_Resultados
    txt_OndGeo.Visible = False
    txt_Val_he.Visible = False
    lb_Ondulaciones.Visible = False
    fr_Hn.Caption = "Z (m)"
    StatusBar1.Panels.Item(1).Text = "Ingreso de Coord. SIRGAS95"
End Sub
```

**" Funcion del Menu para salir**

```
Private Sub Salir_Click()
    End
End Sub
```

**" funciones para comprobar los datos ingresado, solo numeros, puntos y signo -, mediante código Ascii**

```
Private Sub txt_Fi_Grados_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    KeyAscii = NumerosSinP(KeyAscii)
End Sub
```

```
Private Sub txt_Fi_Min_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    KeyAscii = NumerosSinP(KeyAscii)
End Sub
```

**'Comprobacion de ingraso de datos**

```
Private Sub txt_Fi_Seg_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    If KeyAscii = 46 Then
        If InStr(txt_Fi_Seg.Text, ".") Then
            KeyAscii = 0
        Else
            KeyAscii = NumerosPunt(KeyAscii)
        End If
    Else
        KeyAscii = NumerosPunt(KeyAscii)
    End If
End Sub
```

**'Comprobacion de ingraso de datos**

```
Private Sub txt_Hn_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    If KeyAscii = 46 Then
        If InStr(txt_Hn.Text, ".") Then
            KeyAscii = 0
        Else
            KeyAscii = Numeros(KeyAscii)
        End If
    ElseIf KeyAscii = 45 Then
        If InStr(txt_Hn.Text, "-") Then
            KeyAscii = 0
        Else
            KeyAscii = Numeros(KeyAscii)
        End If
    Else
        KeyAscii = Numeros(KeyAscii)
    End If
End Sub
```

**'Comprobacion de ingraso de datos**

```
Private Sub txt_Lbd_Grados_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    KeyAscii = NumerosSinP(KeyAscii)
End Sub
```

**'Comprobacion de ingraso de datos**

```
Private Sub txt_Lbd_Min_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    KeyAscii = NumerosSinP(KeyAscii)
End Sub
```

```
Private Sub txt_Lbd_Seg_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    If KeyAscii = 46 Then
        If InStr(txt_Lbd_Seg.Text, ".") Then
            KeyAscii = 0
        Else
            KeyAscii = NumerosPunt(KeyAscii)
        End If
    Else
        KeyAscii = NumerosPunt(KeyAscii)
    End If
End Sub
```

```

End Sub
'Comprobacion de ingreso de datos
Private Sub txt_Fi_KeyPress(KeyAscii As Integer)
  If KeyAscii = 46 Then
    If InStr(txt_Fi.Text, ".") Then
      KeyAscii = 0
    Else
      KeyAscii = NumerosPunt(KeyAscii)
    End If
  Else
    KeyAscii = NumerosPunt(KeyAscii)
  End If
End Sub
'Comprobacion de ingreso de datos
Private Sub txt_Lambda_KeyPress(KeyAscii As Integer)
  If KeyAscii = 46 Then
    If InStr(txt_Lambda.Text, ".") Then
      KeyAscii = 0
    Else
      KeyAscii = NumerosPunt(KeyAscii)
    End If
  Else
    KeyAscii = NumerosPunt(KeyAscii)
  End If
End Sub

'Comprobacion de ingreso de datos
Private Sub txt_OndGeo_Change()
  txt_Val_he.Text = Val(txt_OndGeo.Text) + Val(txt_Hn.Text)
End Sub
'Comprobacion de ingreso de datos
Private Sub txt_OndGeo_KeyPress(KeyAscii As Integer)
  If KeyAscii = 46 Then
    If InStr(txt_OndGeo.Text, ".") Then
      KeyAscii = 0
    Else
      KeyAscii = Numeros(KeyAscii)
    End If
  ElseIf KeyAscii = 45 Then
    If InStr(txt_OndGeo.Text, "-") Then
      KeyAscii = 0
    Else
      KeyAscii = Numeros(KeyAscii)
    End If
  Else
    KeyAscii = Numeros(KeyAscii)
  End If
End Sub
'Comprobacion de ingreso de datos
Private Sub txt_Val_he_KeyPress(KeyAscii As Integer)
  If KeyAscii = 46 Then
    If InStr(txt_Val_he.Text, ".") Then
      KeyAscii = 0
    Else
      KeyAscii = Numeros(KeyAscii)
    End If
  ElseIf KeyAscii = 45 Then
    If InStr(txt_Val_he.Text, "-") Then
      KeyAscii = 0
    Else
      KeyAscii = Numeros(KeyAscii)
    End If
  Else
    KeyAscii = Numeros(KeyAscii)
  End If
End Sub
'Comprobacion de ingreso de datos
Private Sub Txt_X_KeyPress(KeyAscii As Integer)
  If KeyAscii = 46 Then
    If InStr(Txt_X.Text, ".") Then
      KeyAscii = 0
    Else
      KeyAscii = Numeros(KeyAscii)
    End If
  ElseIf KeyAscii = 45 Then
    If InStr(Txt_X.Text, "-") Then

```

```

        KeyAscii = 0
    Else
        KeyAscii = Numeros(KeyAscii)
    End If
Else
    KeyAscii = Numeros(KeyAscii)
End If
End Sub
'Comprobacion de ingreso de datos
Private Sub Txt_Y_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    If KeyAscii = 46 Then
        If InStr(Txt_Y.Text, ".") Then
            KeyAscii = 0
        Else
            KeyAscii = Numeros(KeyAscii)
        End If
    ElseIf KeyAscii = 45 Then
        If InStr(Txt_Y.Text, "-") Then
            KeyAscii = 0
        Else
            KeyAscii = Numeros(KeyAscii)
        End If
    Else
        KeyAscii = Numeros(KeyAscii)
    End If
End Sub
'Comprobacion de ingreso de datos
Private Sub cbEO_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    KeyAscii = NumerosOE(KeyAscii)
End Sub
'Comprobacion de ingreso de datos
Private Sub cboNS_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    KeyAscii = NumerosNS(KeyAscii)
End Sub

```

## MÓDULO

```

Public Function Numeros(Tecla As Integer) As Integer
    Dim strValido As String
    strValido = "0123456789.-"
    If Tecla > 26 Then
'compara los numeros ke hay en la variable strValido _
        con el numero ingresado(Tecla)
'si el numero ingresado(Tecla) no esta en la variable strValido entonces _
        Tecla = 0, la funcion Chr convierte el numero a ascii
        If InStr(strValido, Chr(Tecla)) = 0 Then
            Tecla = 0
        End If
    End If
    Numeros = Tecla
End Function

Public Function NumerosSinP(Tecla As Integer) As Integer
    Dim strValido As String
    strValido = "0123456789" 'condicion de ingreso, cada numero y signo tiene su codigo Ascii
    If Tecla > 26 Then
'compara los numeros ke hay en la variable strValido _
        con el numero ingresado(Tecla)
'si el numero ingresado(Tecla) no esta en la variable strValido entonces _
Tecla = 0, la funcion Chr convierte el numero a ascii
        If InStr(strValido, Chr(Tecla)) = 0 Then
            Tecla = 0
        End If
    End If
    NumerosSinP = Tecla
End Function

Public Function NumerosPunt(Tecla As Integer) As Integer
    Dim strValido As String
    strValido = "0123456789." 'condicion de ingreso, cada numero y signo tiene su codigo Ascii
    If Tecla > 26 Then
'compara los numeros ke hay en la variable strValido _
        con el numero ingresado(Tecla)
'si el numero ingresado(Tecla) no esta en la variable strValido entonces _

```

```

    Tecla = 0, la funcion Chr convierte el numero a ascii
    If InStr(strValido, Chr(Tecla)) = 0 Then
        Tecla = 0
    End If
End If
NumerosPunt = Tecla
End Function
Public Function NumerosNS(Tecla As Integer) As Integer
Dim strValido As String
strValido = "NSns"
If Tecla > 26 Then
'compara los numeros ke hay en la variable strValido _
con el numero ingresado(Tecla)
'si el numero ingresado(Tecla) no esta en la variable strValido entonces _
Tecla = 0, la funcion Chr convierte el numero a ascii
If InStr(strValido, Chr(Tecla)) = 0 Then
    Tecla = 0
End If
End If
NumerosNS = Tecla
End Function

Public Function NumerosOE(Tecla As Integer) As Integer
Dim strValido As String
strValido = "OEoe"
If Tecla > 26 Then
'compara los numeros ke hay en la variable strValido _
con el numero ingresado(Tecla)
'si el numero ingresado(Tecla) no esta en la variable strValido entonces _
Tecla = 0, la funcion Chr convierte el numero a ascii
If InStr(strValido, Chr(Tecla)) = 0 Then
    Tecla = 0
End If
End If
NumerosOE = Tecla
End Function

```

## C.2. Programa: Transformación de Coordenadas con ITRF's y Épocas de Referencia utilizando 7 parámetros de transformación.

### FORMULARIO PRINCIPAL

```

Dim h As Double 'altura elipsoidal
Dim fi As Double 'latitud
Dim lambda As Double 'longitud
Dim Signo As Integer 'signo de los parámetros
Dim Xt As Double 'coordenada X en cartesiana
Dim Yt As Double 'coordenada Y en cartesiana
Dim Zt As Double 'coordenada Z en cartesiana

Dim ti As Double 'época de entrada de las coordenadas
Dim t0 As Double 'época de salida de las coordenadas calculadas
Dim tk As Double 'época de los parámetros
Dim tj As Double 'época intermedia q sirve para realizar calculos internos entre ITRFs
Dim X As Double 'coordenada X en cartesiana
Dim Y As Double 'coordenada Y en cartesiana
Dim Z As Double 'coordenada Z en cartesiana
Dim Vx As Double 'velocidad en X
Dim Vy As Double 'velocidad en Y
Dim Vz As Double 'velocidad en Z

'variables para el ingreso del nuevo ITRF
Public f_Tx As Double
Public f_Ty As Double
Public f_Tz As Double
Public f_Rx As Double
Public f_Ry As Double
Public f_Rz As Double
Public f_d As Double

Dim ReCalc As Boolean 'Recalculo, aquí, las coordenadas de salida se vuelven de entrada

Dim o_Excel As Object 'variable para excel
Dim o_Libro As Object
Dim o_Hoja As Object

" Funcion para cambiar la epoca de acuerdo el ITRF seleccionado
Private Function Epoca_ITRF(ByVal Epoca As Double, ByVal ITRFs As String) As Boolean
    Select Case ITRFs
        Case "ITRF94"
            If Epoca <> 1995.4 Then 'ITRF94, época de referencia 1995.4
                tj = 1995.4
                Epoca_ITRF = True 'ITRF00, época de referencia 2000.4
                Exit Function
            End If
        Case "ITRF00"
            If Epoca <> 2000.4 Then
                tj = 2000.4
                Epoca_ITRF = True
                Exit Function
            End If
        Case "ITRF05"
            If Epoca <> 2005 Then 'ITRF00, época de referencia a gusto del usuario
                tj = 2005
                Epoca_ITRF = True
                Exit Function
            End If
        Case Else
            Epoca_ITRF = False
            Exit Function
    End Select
End Function

' Funcion para abrir el archivo desde Excel y procesar los puntos
Private Sub btAbrirArchivo_Click()
    AbreArchivo.ShowOpen ' Abrimos el dialog para buscar el archivo excel
    If Not AbreArchivo.FileName = "" Then " comprobamos que tenemos un archivo seleccionado

```



```

    If AbreArchivo.FilterIndex = 2 Then      " Comprobamos que seleccionamos el archivo de tipo xls
        Call Excel_FlexGrid(AbreArchivo.FileName, FlexArchivo, "Hoja1$")
    End If
End If
End Sub

```

**'Funcion para el boton que el abre el programa VMS09**

```

Private Sub btVMS_Click()
    Dim Vms As Double
    If Dir$(App.Path & "\\Vemos2009\VMS2009.exe") <> "" Then
        Vms = Shell(App.Path & "\\Vemos2009\VMS2009.exe", vbNormalFocus)
    Else
        bg = MsgBox("El programa VMS09 no existe", vbExclamation, "ATENCION")'mensaje q se despliega si no encuentra el
archivo q contiene al VMS09
    End If
End Sub

```

**'Comprobacion de ingreso de datos**

```

Private Sub cbEO_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    KeyAscii = NumerosOE(KeyAscii)
End Sub

```

**'Funcion de seleccion del ITRF to, época de referencia de salida, dependiendo de lo q el usuario escoja**

```

Private Sub cbITRF_to_Click()
    Txt_to.Enabled = False
    Select Case cbITRF_to.Text
        Case "ITRF94"
            Txt_to.Text = "1995.4"
        Case "ITRF00"
            Txt_to.Text = "2000.4"
        Case "ITRF05"
            Txt_to.Text = ""
            Txt_to.Enabled = True
        Case "IGS05"
            Txt_to.Text = ""
            Txt_to.Enabled = True
        Case "Nuevo"
            Txt_to.Text = ""
            Txt_to.Enabled = True
            If cbITRF_ti.Text <> "Nuevo" Then
                frmITRF.Show (vbModal)
            End If
    End Select

    If cbITRF_to.Text = cbITRF_ti.Text Then
        Command2.Enabled = False
        MsgBox "Debe seleccionar otro ITRF distinto a " & cbITRF_ti.Text'mensaje q se despliega para q el usuario no seleccione el mismo ITRF (condición del programa)
    Else
        Command2.Enabled = True
    End If
End Sub

```

**'Funcion de seleccion del ITRF ti época de referencia inicial, dependiendo de lo q el usuario escoja**

```

Private Sub cbITRF_ti_Click()
    Txt_ti.Enabled = False
    Select Case cbITRF_ti.Text
        Case "ITRF94"
            Txt_ti.Text = "1995.4"
        Case "ITRF00"
            Txt_ti.Text = "2000.4"
        Case "ITRF05"
            Txt_ti.Text = ""
            Txt_ti.Enabled = True
        Case "IGS05"
            Txt_ti.Text = ""
            Txt_ti.Enabled = True
        Case "Nuevo"
            Txt_ti.Text = ""
            Txt_ti.Enabled = True
            If cbITRF_to.Text <> "Nuevo" Then
                frmITRF.Show (vbModal)
            End If
    End Select

```

```

If cbITRF_ti.Text = cbITRF_to.Text Then
    Command2.Enabled = False
    MsgBox "Debe seleccionar otro ITRF distinto a " & cbITRF_to.Text'Funcion de seleccion del ITRF ti época de referencia inicial, dependiendo de lo q el usuario escoja
Else
    Command2.Enabled = True
End If
End Sub

'Comprobacion de datos
Private Sub cboNS_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    KeyAscii = NumerosNS(KeyAscii)
End Sub

Private Sub Command1_Click()

End Sub

Private Sub chkITRF_ti_Click()
    cbITRF_ti.Enabled = Not CBool(chkITRF_ti.Value)
    Txt_ti.Enabled = True
End Sub

Private Sub chkITRF_to_Click()
    cbITRF_to.Enabled = Not CBool(chkITRF_to.Value)
    Txt_to.Enabled = True
End Sub

'Funcion principal del boton calcular
Private Sub Command2_Click()
    resp = 0

'Para comprobar que todos los datos esten ingresados correctamente
'comprobacion de ingreso de coordenadas en grados, minutos, segundos
If (txt_Fi_Grados.Text = "" Or txt_Fi_Min.Text = "" Or txt_Lbd_Seg.Text = "" Or txt_Lbd_Grados.Text = "" Or txt_Lbd_Min.Text = "" Or txt_Lbd_Seg.Text = "") And opPunto.Value And opGraMinSeg.Value Then
    resp = MsgBox("Error falta ingreso de coordenadas", vbOKOnly + vbExclamation, "Error")'mensaje q se despliega si los datos no se ingresan
End If

If (txt_Fi.Text = "" Or txt_Lambda.Text = "") And opGrados.Value And opGrados.Value Then
    resp = MsgBox("Error falta ingreso de coordenadas", vbOKOnly + vbExclamation, "Error") 'mensaje q se despliega si los datos no se ingresan
End If

'comprobacion de ingreso de datos
If (txt_He.Text = "" Or cboNS.Text = "" Or cbEO.Text = "") And opGrados.Value And opGrados.Value Then
    resp = MsgBox("Error falta ingreso de coordenadas", vbOKOnly + vbExclamation, "Error") 'mensaje q se despliega si los datos no se ingresan
End If

If Txt_ti.Text = "" Or Txt_to = "" Then
    resp = MsgBox("Error falta de las Epocas", vbOKOnly + vbExclamation, "Error") 'mensaje q se despliega si los datos no se ingresan
End If

'condiciones de los datos de ingreso
If opGrados.Value And Val(txt_Fi.Text) > 90 Then
    resp = MsgBox("El valor de Latitud no debe ser mayor a 90°", vbOKOnly + vbExclamation, "Error")
End If

If opGrados.Value And Val(txt_Lambda.Text) > 180 Then
    resp = MsgBox("El valor de Longitud no debe ser mayor a 180°", vbOKOnly + vbExclamation, "Error")
End If

If opGraMinSeg.Value And Val(txt_Fi_Grados.Text) > 90 Then
    resp = MsgBox("El valor de Grados de Latitud no debe ser mayor a 90°", vbOKOnly + vbExclamation, "Error")
End If

If opGraMinSeg.Value And Val(txt_Fi_Min.Text) > 60 Then
    resp = MsgBox("El valor de minutos de Latitud no debe ser mayor a 60", vbOKOnly + vbExclamation, "Error")
End If

If opGraMinSeg.Value And Val(txt_Lbd_Grados.Text) > 90 Then
    resp = MsgBox("El valor de Grados de Longitud no debe ser mayor a 90°", vbOKOnly + vbExclamation, "Error")
End If

If opGraMinSeg.Value And Val(txt_Lbd_Min.Text) > 60 Then
    resp = MsgBox("El valor de minutos de Longitud no debe ser mayor a 60", vbOKOnly + vbExclamation, "Error")
End If

```

If resp = 0 Then

**'ValorITRFs**

Select Case cbITRF\_ti

Case "Nuevo"

cb1 = 6

Case "IGS05"

cb1 = 5

Case "ITRF05"

cb1 = 4

Case "ITRF00"

cb1 = 3

Case "ITRF94"

cb1 = 2

End Select

**'valor del nuevo ITRF**

Select Case cbITRF\_to

Case "Nuevo"

cb2 = 6

Case "IGS05"

cb2 = 5

Case "ITRF05"

cb2 = 4

Case "ITRF00"

cb2 = 3

Case "ITRF94"

cb2 = 2

End Select

**" parámetros geométricos Elipsoide GRS80**

a = 6378137 'semieje mayor

f = 1 / 298.257222101 'achatamiento

ext = 2 \* f - f ^ 2 'formula de la primera excentricidad

**"Tipo cartesianas**

If opCartesianas.Value Then

X = Val(Txt\_X)

Y = Val(Txt\_Y)

Z = Val(txt\_He)

**'sustitucion de variables para realizar calculos internos**

Xt = X

Yt = Y

Zt = Z

Else

**'Tipo geodesicas grados, Minutos y segundos**

If opGraMinSeg.Value Then

fi = Val(txt\_Fi\_Grados) + Val(txt\_Fi\_Min) / 60 + Val(txt\_Fi\_Seg) / 3600

lambda = Val(txt\_Lbd\_Grados) + Val(txt\_Lbd\_Min) / 60 + Val(txt\_Lbd\_Seg) / 3600

h = Val(txt\_He)

If cboNS = "S" Then 'condicion, si es norte es positivo, si es sur es negativo

fi = fi \* (-1)

fi = fi \* (-1)

End If

If cbEO = "O" Then 'condicion, si es este es positivo, si es oeste es negativo

lambda = lambda \* (-1)

End If

Else

**'Tipo geodesicas grados**

fi = Val(txt\_Fi)

lambda = Val(txt\_Lambda)

h = Val(txt\_He)

If cboNS = "S" Then 'condicion, si es norte es positivo, si es sur es negativo

fi = fi \* (-1)

End If

If cbEO = "O" Then 'condicion, si es este es positivo, si es oeste es negativo

lambda = lambda \* (-1)

End If

End If

**' Convertir los valores de fi y lambda en Radianes**

fi = (fi \* 3.1415926535898) / 180

lambda = (lambda \* 3.1415926535898) / 180

**'formulas de conversión de coordenadas geodésicas a cartesianas**

n = a / (Sqr(1 - (ext \* Sin(fi) ^ 2)))

```

'h=he; fi= fi; lambda= la'
borrar = n + h

'Conversion a cartesianas

X = (n + h) * Cos(fi) * Cos(lambda)
Y = (n + h) * Cos(fi) * Sin(lambda)
Z = (n * (1 - ext) + h) * Sin(fi)
End If

'Valores de velocidades

Vx = Val(txt_Vx)
Vy = Val(txt_Vy)
Vz = Val(txt_Vz)

'Limpa resultados
Limpia_Resultados
ReCalc = False
NroCalculo = 1

'Transformacion de epoca de referencia'
Do
'de ti a to'
If Not ReCalc Then
  t0 = Val(Txt_to)
  tj = Val(Txt_ti)
  ti = Val(Txt_tj)
  Valcb1 = cb1
  Valcb2 = cb2
Else
  t0 = Val(Txt_ti)
  tj = Val(Txt_to)
  ti = Val(Txt_tj)
  Valcb1 = cb2
  Valcb2 = cb1
  X = Xt
  Y = Yt
  Z = Zt
End If

' Transformacion de ITRF's
If Valcb1 > Valcb2 Then
  Signo = 1
  i = Valcb1 - 1
  Do
    "For i = Valcb1 - 1 To Valcb2

      Calculo_ITRF i
      i = i - 1
      Loop While i >= Valcb2
    "Next i
  Else
    Signo = -1
    For i = Valcb1 To Valcb2 - 1
      Calculo_ITRF i
    Next i
  End If

' Calculo de Velocidades
If Epoca_ITRF(ti, cbITRF_ti) Then
  Cambio_Epoca ti, tj
  ti = tj
End If

If Epoca_ITRF(t0, cbITRF_t0) Then
  Cambio_Epoca ti, tj
  Cambio_Epoca tj, t0
Else
  Cambio_Epoca ti, t0
End If

'Transformar a geodesicas'
'parametros de Grs80'

```

```

b = a * (1 - f) 'semieje menor

ext2 = (a ^ 2 - b ^ 2) / b ^ 2 'segunda excentricidad
p = Sqr(Xt ^ 2 + Yt ^ 2)
te = Atn((Zt * a) / (p * b))

'//// respuesta'
fi = Atn((Zt + ext2 * b * Sin(te) ^ 3) / (p - ext * a * Cos(te) ^ 3))
lambda = Atn(Yt / Xt)

n = a / (Sqr(1 - (ext * Sin(fi) ^ 2)))
he = (p / Cos(fi)) - n

'Conversion del resultado a Grados, minutos y Segundos
If opGraMinSeg.Value Then
    fi = (fi * 180) / 3.1415926535898
    lambda = (lambda * 180) / 3.1415926535898
    FiGR = fi
    If fi < 0 Then
        FiMin = ((fi - Fix(fi)) * 60) * -1

    Else
        FiMin = (fi - Fix(fi)) * 60
    End If
    FiSeg = (FiMin - Fix(FiMin)) * 60

    lbdGR = lambda
    If lambda < 0 Then
        lbdMin = ((lambda - Fix(lambda)) * 60) * -1
    Else
        lbdMin = (lambda - Fix(lambda)) * 60
    End If
    lbdSeg = (lbdMin - Fix(lbdMin)) * 60

    fiii = Fix(fi) & "" & fi - Fix(fi) & ""

        'para grados, minutos y segundos
' número de decimales para el caso de grados, minutos y segundos
If Not ReCalc Then
    flexresultados.AddItem NroCalculo & vbTab & Fix(FiGR) & "" & Fix(FiMin) & "" & Round(FiSeg, 4) & vbTab &
    Fix(lbdGR) & "" & Fix(lbdMin) & "" & Round(lbdSeg, 4) & vbTab & Round(he, 4) & vbTab & ""
    Else
    flexresultados.AddItem NroCalculo & vbTab & Fix(FiGR) & "" & Fix(FiMin) & "" & Round(FiSeg, 4) & vbTab &
    Fix(lbdGR) & "" & Fix(lbdMin) & "" & Round(lbdSeg, 4) & vbTab & Round(he, 4) & vbTab & ""
    End If

'Conversion del resultado a grados
' número de decimales para el caso de grados
ElseIf opGrados.Value Then
    fi = (fi * 180) / 3.1415926535898
    lambda = (lambda * 180) / 3.1415926535898
    If Not ReCalc Then
        flexresultados.AddItem NroCalculo & vbTab & Round(fi, 9) & vbTab & Round(lambda, 9) & vbTab & Round(he, 4) & vbTab
        & ""
    Else
        flexresultados.AddItem NroCalculo & vbTab & Round(fi, 9) & vbTab & Round(lambda, 9) & vbTab & Round(he, 4) & vbTab
        & ""
    End If

Else
'Ingresa valores de cartesianas sin conversion
' número de decimales para el caso de cartesianas
If Not ReCalc Then
    flexresultados.AddItem NroCalculo & vbTab & Str(Round(Xt, 4)) & vbTab & Str(Round(Yt, 4)) & vbTab & Str(Round(Zt, 4))
    & vbTab & ""
    Else
    flexresultados.AddItem NroCalculo & vbTab & Str(Round(Xt, 4)) & vbTab & Str(Round(Yt, 4)) & vbTab & Str(Round(Zt, 4))
    & vbTab & ""
    End If
End If

'Comprobacion de datos para el recalcu
If chkComprueba.Value = 1 Then 'para verificar si es necesario la comprobacion (el recalcu o regreso de la transformación)
    If ReCalc Then
        ReCalc = False

```

```

Else
    ReCalc = True
End If
End If
NroCalculo = NroCalculo + 1
Loop While ReCalc = True
If flexresultados.Rows > 1 Then' bucle para realizar las transformaciones, en caso de tener la omprobación vuelve ejecuta todo
    GuardarComo.Enabled = True
    ExportarExcel.Enabled = True
End If
StatusBar1.Panels.Item(1).Text = "Calculo de: " & cbITRF_ti.Text & " a " & cbITRF_to.Text

End If
'Dim seg As Double, Min As Double, fisex As Double, lambsex As Double
End Sub

'Cambio de epoca de las velociaddes
Private Sub Cambio_Epoca(ByVal ati As Double, ByVal at0 As Double)
    X = Xt + (at0 - ati) * Vx
    Y = Yt + (at0 - ati) * Vy
    Z = Zt + (at0 - ati) * Vz
    Xt = X
    Yt = Y
    Zt = Z

End Sub

'Calculo de los ITRFs
Private Sub Calculo_ITRF(ByVal nroITRF As Integer)
    epocitr = ""

'Funcion que calcula IGS05 a Nuevo ITRF o IGS => +Signo // Nuevo ITRF o IGS a IGS05 => -Signo
If nroITRF = 5 Then
    'Valores de 7 parametros
    Tx = f_Tx * Signo
    Ty = f_Ty * Signo
    Tz = f_Tz * Signo
    Rx = f_Rx * Signo
    Ry = f_Ry * Signo
    Rz = f_Rz * Signo
    d = f_d * Signo
End If

'Funcion que calcula IGS05 a ITRF05 => +Signo // ITRF05 a IGS05 => -Signo
If nroITRF = 4 Then
    'Valores de 7 parametros
    Tx = 0.00165 * Signo
    Ty = -0.00016 * Signo
    Tz = 0.00236 * Signo
    Rx = (-5.4202169548047 * 10 ^ -11) * Signo
    Ry = (-3.359758810089 * 10 ^ -11) * Signo
    Rz = (-2.2301429331039 * 10 ^ -12) * Signo
    d = (-1.85533 * 10 ^ -9) * Signo

End If

'Funcion que calcula ITRF05 a ITRF00 => +Signo // ITRF00 a ITRF05 => -Signo
If nroITRF = 3 Then
    Tx = 0.0001 * Signo
    Ty = -0.0008 * Signo
    Tz = -0.0058 * Signo
    Rx = 0
    Ry = 0
    Rz = 0
    d = (0.4 * 10 ^ -9) * Signo

End If

'Funcion que calcula ITRF00 a ITRF94 => +Signo // ITRF94 a ITRF00 => -Signo
If nroITRF = 2 Then

    Tx = 0.0067 * Signo
    Ty = 0.0061 * Signo
    Tz = -0.0185 * Signo
    Rx = 0
    Ry = 0
    Rz = 0

```

```

d = (1.55 * 10 ^ -9) * Signo
End If
' ----- Valores de 7 Parámetros

'Modelo de Helmert
Xt = Xt + Tx + ((d * Xt) + (-Rz * Yt) + (Ry * Zt))
Yt = Yt + Ty + ((Rz * Xt) + (d * Yt) + (-Rx * Zt))
Zt = Zt + Tz + ((-Ry * Xt) + (Rx * Yt) + (d * Zt))
End Sub

'Funcion del boton para abrir archivo en Excel
Private Sub Command3_Click()
AbreArchivo.ShowOpen
End Sub

'Funcion para guardar el resultado en Excel
Private Sub ExportarExcel_Click()
DialGuardarExcel.ShowSave
If Not DialGuardarExcel.FileName = "" Then
If Exportar_Excel(DialGuardarExcel.FileName, flexresultados) Then
box = MsgBox(" Datos exportados en " & DialGuardarExcel.FileName, vbInformation)
End If
End If
End Sub

'Funcion para exportar el archivo a Excel
Public Function Exportar_Excel(sOutputPath As String, FlexGrid As Object) As Boolean

On Error GoTo Error_Handler

Dim Fila As Long
Dim Columna As Long

' -- Crea el objeto Excel, el objeto workBook y el objeto sheet
Set o_Excel = CreateObject("Excel.Application")
Set o_Libro = o_Excel.Workbooks.Add
Set o_Hoja = o_Libro.Worksheets.Add

o_Hoja.cells(3, 1).Value = "Nro"
If opCartesianas.Value Then
o_Hoja.cells(3, 2).Value = "X"
o_Hoja.cells(3, 3).Value = "Y"
o_Hoja.cells(3, 4).Value = "Z"
Else
o_Hoja.cells(3, 2).Value = "Latitud"
o_Hoja.cells(3, 3).Value = "Longitud"
o_Hoja.cells(3, 4).Value = "h"
End If
o_Hoja.cells(3, 5).Value = "Observaciones"

' -- Bucle para Exportar los datos
With FlexGrid
For Fila = 1 To .Rows - 1
For Columna = 0 To .Cols - 1
o_Hoja.cells(Fila + 3, Columna + 1).Value = .TextMatrix(Fila, Columna)
Next
Next
End With
o_Libro.Close True, sOutputPath
' -- Cerrar Excel
o_Excel.Quit
' -- Terminar instancias
Call Descargar(o_Excel, o_Libro, o_Hoja)
Exportar_Excel = True
Exit Function

' -- Controlador de Errores
Error_Handler:
' -- Cierra la hoja y el la aplicación Excel
If Not o_Libro Is Nothing Then: o_Libro.Close False
If Not o_Excel Is Nothing Then: o_Excel.Quit
Call Descargar(o_Excel, o_Libro, o_Hoja)
If Err.Number <> 1004 Then MsgBox Err.Description, vbCritical
End Function

```

```

'-----
' \-- Eliminar objetos para liberar recursos
'-----
Private Sub Descargar(o_Excel As Object, o_Libro As Object, o_Hoja As Object)
    If Not o_Excel Is Nothing Then Set o_Excel = Nothing
    If Not o_Libro Is Nothing Then Set o_Libro = Nothing
    If Not o_Hoja Is Nothing Then Set o_Hoja = Nothing
End Sub

Private Sub Form_Load()
    Limpia_Resultados
End Sub

'Limpia resultados de la tabla
Private Sub Limpia_Resultados()
    flexresultados.Clear
    If opCartesianas.Value Then
        flexresultados.FormatString = " Nro|X (m)|Y (m)|Z (m)|Observaciones"
    Else
        flexresultados.FormatString = " Nro|Latitud|Longitud|h|Observaciones"
    End If
    flexresultados.Rows = 1
    flexresultados.ColWidth(0) = 500
    flexresultados.ColWidth(1) = 1700
    flexresultados.ColWidth(2) = 1700
    flexresultados.ColWidth(3) = 1700
    flexresultados.ColWidth(4) = 2000
    GuardarComo.Enabled = False
    ExportarExcel.Enabled = False
End Sub

'Funcion del menu para guardar los resultados
Private Sub GuardarComo_Click()
    DialGuardarExcel.ShowSave
    If Not DialGuardarExcel.FileName = "" Then
        If Exportar_Excel(DialGuardarExcel.FileName, flexresultados) Then
            box = MsgBox(" Datos exportados en " & DialGuardarExcel.FileName, vbInformation)
        End If
    End If
End Sub

'Funcion para abrir el manual de usuario
Private Sub Manual_Usuario_Click()
    Dim Vms As Double
    If Dir$(App.Path & "\ManualUsuario.pdf") <> "" Then
        Vms = Shell("rundll32.exe url.dll,FileProtocolHandler " & (App.Path & "\ManualUsuario.pdf"), vbNormalFocus)
    Else
        bg = MsgBox("El Manual de Usuario no existe", vbExclamation, "ATENCIÓN")
    End If
End Sub

'Funcion par deshabilitar campos que no corresponden para abrir por archivo
Private Sub opArchivo_Click()
    Limpia_Resultados
    Limpia_Txt_Punto
    FlexArchivo.Visible = True
    btAbrirArchivo.Visible = True

    txt_Fi_Grados.Visible = False
    txt_Fi_Min.Visible = False
    txt_Fi_Seg.Visible = False

    txt_Lbd_Grados.Visible = False
    txt_Lbd_Min.Visible = False
    txt_Lbd_Seg.Visible = False

    txt_Fi.Visible = False
    txt_Lambda.Visible = False

    txt_He.Visible = False
    txt_Vx.Visible = False
    txt_Vy.Visible = False
    txt_Vz.Visible = False
    cboNS.Visible = False
    cbEO.Visible = False
End Sub

```



**'Funcion para deshabilitar campos que no corresponden a la transformacion por cartesianas**

```
Private Sub opCartesianas_Click()
    Limpia_Resultados
    Limpia_Txt_Punto
    txt_Fi_Grados.Visible = False
    txt_Fi_Min.Visible = False
    txt_Fi_Seg.Visible = False

    txt_Lbd_Grados.Visible = False
    txt_Lbd_Min.Visible = False
    txt_Lbd_Seg.Visible = False

    txt_Fi.Visible = False
    txt_Lambda.Visible = False
    cboNS.Visible = False
    cbEO.Visible = False

    Txt_X.Visible = True
    Txt_Y.Visible = True

    fr_Fi.Caption = "X (m)"
    fr_Lambda.Caption = "Y (m)"
    fr_H.Caption = "Z (m)"
    StatusBar1.Panels.Item(2).Text = "Coordenadas Cartesianas (m)"
End Sub
```

**'Funcion para deshabilitar campos que no corresponden a la transformacion geodesicas por grados**

```
Private Sub opGrados_Click()
    Limpia_Resultados
    Limpia_Txt_Punto
    Activa_Desactiva_txt False
    fr_Fi.Caption = "Latitud"
    fr_Lambda.Caption = "Longitud"
    fr_H.Caption = "h"
    StatusBar1.Panels.Item(2).Text = "Coordenadas Geodésicas (°)"
End Sub
```

**'Funcion para deshabilitar campos que no corresponden a la transformacion geodesicas por grados, minutos y segundos**

```
Private Sub opGraMinSeg_Click()
    Limpia_Resultados
    Limpia_Txt_Punto
    Activa_Desactiva_txt True
    fr_Fi.Caption = "Latitud"
    fr_Lambda.Caption = "Longitud"
    fr_H.Caption = "h"
    StatusBar1.Panels.Item(2).Text = "Coordenadas Geodésicas (° ' ")
End Sub
```

**'Funcion para activar o desactivar casillas**

```
Private Sub Activa_Desactiva_txt(ByVal Bol As Boolean)
    txt_Fi_Grados.Visible = Bol
    txt_Fi_Min.Visible = Bol
    txt_Fi_Seg.Visible = Bol

    txt_Lbd_Grados.Visible = Bol
    txt_Lbd_Min.Visible = Bol
    txt_Lbd_Seg.Visible = Bol

    txt_Fi.Visible = Not Bol
    txt_Lambda.Visible = Not Bol

    Txt_X.Visible = False
    Txt_Y.Visible = False

    txt_He.Visible = True
    txt_Vx.Visible = True
    txt_Vy.Visible = True
    txt_Vz.Visible = True
    cboNS.Visible = True
    cbEO.Visible = True
End Sub
```

**'Funcion para limpiar casillas y poder ingresar nuevos datos**

```
Private Sub Limpia_Txt_Punto()
    txt_Fi_Grados.Text = ""
    txt_Fi_Min.Text = ""
```

```
txt_Fi_Seg.Text = ""
```

```
txt_Lbd_Grados.Text = ""
txt_Lbd_Min.Text = ""
txt_Lbd_Seg.Text = ""
```

```
txt_Fi.Text = ""
txt_Lambda.Text = ""
```

```
txt_He.Text = ""
txt_Vx.Text = ""
txt_Vy.Text = ""
txt_Vz.Text = ""
Txt_X.Text = ""
Txt_Y.Text = ""
End Sub
```

#### **'Funcion de seleccion de ingreso de coordenadas por punto**

```
Private Sub opPunto_Click()
    Limpia_Txt_Punto
    Limpia_Resultados
    FlexArchivo.Visible = False
    btAbrirArchivo.Visible = False
    If opGraMinSeg.Value Then
        Activa_Desactiva_txt True
    Else
        Activa_Desactiva_txt False
    End If
End Sub
```

```
Private Sub Salir_Click()
    End
End Sub
```

#### **'Comprobacion de datos de entrada**

**" funciones para comprobar los datos ingresado, solo numeros, puntos y signo -, mediante codigo Ascii**

```
Private Sub txt_Fi_Grados_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    KeyAscii = NumerosSinP(KeyAscii)
End Sub
```

```
Private Sub txt_Fi_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    If KeyAscii = 46 Then
        If InStr(txt_Fi.Text, ".") Then
            KeyAscii = 0
        Else
            KeyAscii = NumerosPunt(KeyAscii)
        End If
    Else
        KeyAscii = NumerosPunt(KeyAscii)
    End If
End Sub
```

#### **'Comprobacion de datos de entrada**

```
Private Sub txt_Fi_Min_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    KeyAscii = NumerosSinP(KeyAscii)
End Sub
```

```
Private Sub txt_Fi_Seg_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    If KeyAscii = 46 Then
        If InStr(txt_Fi_Seg.Text, ".") Then
            KeyAscii = 0
        Else
            KeyAscii = NumerosPunt(KeyAscii)
        End If
    Else
        KeyAscii = NumerosPunt(KeyAscii)
    End If
End Sub
```

#### **'Comprobacion de datos de entrada**

```
Private Sub txt_He_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    If KeyAscii = 46 Then
        If InStr(txt_He.Text, ".") Then
            KeyAscii = 0
        Else
            KeyAscii = Numeros(KeyAscii)
        End If
    ElseIf KeyAscii = 45 Then
```

```

    If InStr(txt_He.Text, "-") Then
        KeyAscii = 0
    Else
        KeyAscii = Numeros(KeyAscii)
    End If
Else
    KeyAscii = Numeros(KeyAscii)
End If
End Sub
'Comprobacion de datos de entrada
Private Sub txt_Lambda_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    If KeyAscii = 46 Then
        If InStr(txt_Lambda.Text, ".") Then
            KeyAscii = 0
        Else
            KeyAscii = NumerosPunt(KeyAscii)
        End If
    Else
        KeyAscii = NumerosPunt(KeyAscii)
    End If
End Sub
'Comprobacion de datos de entrada
Private Sub txt_Lbd_Grados_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    KeyAscii = NumerosSinP(KeyAscii)
End Sub
'Comprobacion de datos de entrada
Private Sub txt_Lbd_Min_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    KeyAscii = NumerosSinP(KeyAscii)
End Sub
'Comprobacion de datos de entrada
Private Sub txt_Lbd_Seg_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    If KeyAscii = 46 Then
        If InStr(txt_Lbd_Seg.Text, ".") Then
            KeyAscii = 0
        Else
            KeyAscii = NumerosPunt(KeyAscii)
        End If
    Else
        KeyAscii = NumerosPunt(KeyAscii)
    End If
End Sub
'Comprobacion de datos de entrada
Private Sub txt_Ti_Keypress(KeyAscii As Integer)
    If KeyAscii = 46 Then
        If InStr(Txt_ti.Text, ".") Then
            KeyAscii = 0
        Else
            KeyAscii = NumerosPunt(KeyAscii)
        End If
    Else
        KeyAscii = NumerosPunt(KeyAscii)
    End If
End Sub
'Comprobacion de datos de entrada
Private Sub Txt_to_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    If KeyAscii = 46 Then
        If InStr(Txt_to.Text, ".") Then
            KeyAscii = 0
        Else
            KeyAscii = NumerosPunt(KeyAscii)
        End If
    Else
        KeyAscii = NumerosPunt(KeyAscii)
    End If
End Sub

'-----
'-- Función para leer los datos del Excel y cargarlos en el Flex
'-----
Private Sub Excel_FlexGrid(sPath As String, FlexGrid As Object, Optional sSheetName As String = vbNullString)

    Dim i As Long
    Dim n As Long

    On Error GoTo error_sub

```

```

Me.MousePointer = vbHourglass
' -- crea nueva instancia de Excel
Set o_Excel = CreateObject("Excel.Application")
obj_Excel.Visible = True

' -- Abrir el libro
Set o_Libro = o_Excel.Workbooks.Open(sPath)
' -- referencia la Hoja, por defecto la hoja activa
If sSheetName = vbNullString Then
    Set o_Hoja = o_Libro.ActiveSheet
Else
    Set o_Hoja = o_Libro.Sheets(1) 'sSheetName)
End If

Filas = 1
Do While Not o_Hoja.Cells(Filas, 1).Value = ""
    vlor_excel = o_Hoja.Cells(Filas, 1).Value
    Filas = Filas + 1
Loop

' -- Setear Grid
With FlexArchivo
    ' -- Especificar la cantidad de filas y columnas
    .Cols = 14 'Columns
    .Rows = Filas - 1
    ' -- Recorrer las filas del FlexGrid para agregar los datos
    For i = 0 To .Rows - 1
        ' -- Establecer la fila activa
        .Row = i
        ' -- Recorrer las columnas del FlexGrid
        For n = 1 To .Cols - 1
            ' -- Establecer columna activa
            .Col = n
            ' -- Asignar a la celda del Flex el contenido de la celda del excel
            .Text = o_Hoja.Cells(i + 2, n).Value
        Next
    Next
End With
' -- Cerrar libro
o_Libro.Close True, sOutputPath
' -- Cerrar Excel
o_Excel.Quit
' -- Descargar objetos para liberar recursos
Call Descargar(o_Excel, o_Libro, o_Hoja)
' -- Errores
Exit Sub
error_sub:
    MsgBox Err.Description
    If Not o_Libro Is Nothing Then: o_Libro.Close False
    If Not o_Excel Is Nothing Then: o_Excel.Quit

    Call Descargar(o_Excel, o_Libro, o_Hoja)
    Me.MousePointer = vbDefault
End Sub

'Comprobacion de ingreso de datos
" funciones para comprobar los datos ingresado, solo numeros, puntos y signo -, mediante codigo Ascii
Private Sub txt_Vx_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    If KeyAscii = 46 Then
        If InStr(txt_Vx.Text, ".") Then
            KeyAscii = 0
        Else
            KeyAscii = Numeros(KeyAscii)
        End If
    ElseIf KeyAscii = 45 Then
        If InStr(txt_Vx.Text, "-") Then
            KeyAscii = 0
        Else
            KeyAscii = Numeros(KeyAscii)
        End If
    Else
        KeyAscii = Numeros(KeyAscii)
    End If
End Sub

'Comprobacion de ingreso de datos

```

```

Private Sub txt_Vy_KeyPress(KeyAscii As Integer)
  If KeyAscii = 46 Then
    If InStr(txt_Vy.Text, ".") Then
      KeyAscii = 0
    Else
      KeyAscii = Numeros(KeyAscii)
    End If
  ElseIf KeyAscii = 45 Then
    If InStr(txt_Vy.Text, "-") Then
      KeyAscii = 0
    Else
      KeyAscii = Numeros(KeyAscii)
    End If
  Else
    KeyAscii = Numeros(KeyAscii)
  End If
End Sub

'Comprobacion de ingreso de datos
Private Sub txt_Vz_KeyPress(KeyAscii As Integer)
  If KeyAscii = 46 Then
    If InStr(txt_Vz.Text, ".") Then
      KeyAscii = 0
    Else
      KeyAscii = Numeros(KeyAscii)
    End If
  ElseIf KeyAscii = 45 Then
    If InStr(txt_Vz.Text, "-") Then
      KeyAscii = 0
    Else
      KeyAscii = Numeros(KeyAscii)
    End If
  Else
    KeyAscii = Numeros(KeyAscii)
  End If
End Sub

'Comprobacion de ingreso de datos
Private Sub Txt_X_KeyPress(KeyAscii As Integer)
  If KeyAscii = 46 Then
    If InStr(Txt_X.Text, ".") Then
      KeyAscii = 0
    Else
      KeyAscii = Numeros(KeyAscii)
    End If
  ElseIf KeyAscii = 45 Then
    If InStr(Txt_X.Text, "-") Then
      KeyAscii = 0
    Else
      KeyAscii = Numeros(KeyAscii)
    End If
  Else
    KeyAscii = Numeros(KeyAscii)
  End If
End Sub

'Comprobacion de ingreso de datos
Private Sub Txt_Y_KeyPress(KeyAscii As Integer)
  If KeyAscii = 46 Then
    If InStr(Txt_Y.Text, ".") Then
      KeyAscii = 0
    Else
      KeyAscii = Numeros(KeyAscii)
    End If
  ElseIf KeyAscii = 45 Then
    If InStr(Txt_Y.Text, "-") Then
      KeyAscii = 0
    Else
      KeyAscii = Numeros(KeyAscii)
    End If
  Else
    KeyAscii = Numeros(KeyAscii)
  End If
End Sub

```

## FORMULARIO ITRF NUEVO

### 'ingreso manual de los parámetros de transformación del nuevo ITRF

```
Private Sub btAceptar_Click()
    frmTransformaciones.f_Tx = Val(txt_Tx)
    frmTransformaciones.f_Ty = Val(txt_Ty)
    frmTransformaciones.f_Tz = Val(txt_Tz)
    frmTransformaciones.f_Rx = Val(txt_Rx)
    frmTransformaciones.f_Ry = Val(txt_Ry)
    frmTransformaciones.f_Rz = Val(txt_Rz)
    frmTransformaciones.f_d = Val(txt_d)
    Unload Me
End Sub
```

```
Private Sub btCancelar_Click()
    Unload Me
End Sub
```

### 'cargada de los pámetros de transformación del nuevo ITRF

```
Private Sub Form_Load()
    txt_Tx.Text = frmTransformaciones.f_Tx
    txt_Ty.Text = frmTransformaciones.f_Ty
    txt_Tz.Text = frmTransformaciones.f_Tz
    txt_Rx.Text = frmTransformaciones.f_Rx
    txt_Ry.Text = frmTransformaciones.f_Ry
    txt_Rz.Text = frmTransformaciones.f_Rz
    txt_d.Text = frmTransformaciones.f_d
End Sub
```

### 'Comprobacion de ingreso de datos

```
Private Sub txt_d_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    KeyAscii = Numeros(KeyAscii)
End Sub
```

```
Private Sub txt_Rx_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    KeyAscii = Numeros(KeyAscii)
End Sub
```

```
Private Sub txt_Ry_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    KeyAscii = Numeros(KeyAscii)
End Sub
```

```
Private Sub txt_Rz_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    KeyAscii = Numeros(KeyAscii)
End Sub
```

```
Private Sub txt_Tx_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    KeyAscii = Numeros(KeyAscii)
End Sub
```

```
Private Sub txt_Ty_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    KeyAscii = Numeros(KeyAscii)
End Sub
```

```
Private Sub txt_Tz_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    KeyAscii = Numeros(KeyAscii)
End Sub
```

## MÓDULO

### Public Function Numeros(Tecla As Integer) As Integer

```
Dim strValido As String
strValido = "0123456789.-"
If Tecla > 26 Then
    'compara los numeros ke hay en la variable strValido _
    con el numero ingresado(Tecla)
    'si el numero ingresado(Tecla) no esta en la variable strValido entonces _
    Tecla = 0, la funcion Chr convierte el numero a ascii
    If InStr(strValido, Chr(Tecla)) = 0 Then
        Tecla = 0
    End If
End If
Numeros = Tecla
End Function
```

### Public Function NumerosSinP(Tecla As Integer) As Integer

```
Dim strValido As String
strValido = "0123456789"
```

```

If Tecla > 26 Then
'compara los numeros ke hay en la variable strValido _
con el numero ingresado(Tecla)
'si el numero ingresado(Tecla) no esta en la variable strValido entonces _
Tecla = 0, la funcion Chr convierte el numero a ascii
If InStr(strValido, Chr(Tecla)) = 0 Then
Tecla = 0
End If
End If
NumerosSinP = Tecla
End Function

```

**Public Function NumerosPunt(Tecla As Integer) As Integer**

```

Dim strValido As String
strValido = "0123456789." 'condicion de ingreso, cada numero y signo tiene su codigo Ascii
If Tecla > 26 Then
'compara los numeros ke hay en la variable strValido _
con el numero ingresado(Tecla)
'si el numero ingresado(Tecla) no esta en la variable strValido entonces _
Tecla = 0, la funcion Chr convierte el numero a ascii
If InStr(strValido, Chr(Tecla)) = 0 Then
Tecla = 0
End If
End If
NumerosPunt = Tecla
End Function

```

**Public Function NumerosNS(Tecla As Integer) As Integer**

```

Dim strValido As String
strValido = "NSns"
If Tecla > 26 Then
'compara los numeros ke hay en la variable strValido _
con el numero ingresado(Tecla)
'si el numero ingresado(Tecla) no esta en la variable strValido entonces _
Tecla = 0, la funcion Chr convierte el numero a ascii
If InStr(strValido, Chr(Tecla)) = 0 Then
Tecla = 0
End If
End If
NumerosNS = Tecla
End Function

```

**Public Function NumerosOE(Tecla As Integer) As Integer**

```

Dim strValido As String
strValido = "OEoe"
If Tecla > 26 Then
'compara los numeros ke hay en la variable strValido _
con el numero ingresado(Tecla)
'si el numero ingresado(Tecla) no esta en la variable strValido entonces _
Tecla = 0, la funcion Chr convierte el numero a ascii
If InStr(strValido, Chr(Tecla)) = 0 Then
Tecla = 0
End If
End If
NumerosOE = Tecla
End Function

```

### C.3. Programa: Transformación de Coordenadas con ITRFs y Épocas de Referencia utilizando 7 y 14 parámetros de transformación.

#### FORMULARIO PRINCIPAL

Dim h As Double 'altura elipsoidal

Dim fi As Double 'latitud

Dim lambda As Double 'longitud

Dim Signo As Integer 'signo de los parámetros

Dim Xt As Double 'coordenada X en cartesiana

Dim Yt As Double 'coordenada Y en cartesiana

Dim Zt As Double 'coordenada Z en cartesiana

Dim ti As Double 'época de entrada de las coordenadas

Dim t0 As Double 'época de salida de las coordenadas calculadas

Dim tk As Double 'época de los parámetros

Dim tj As Double 'época intermedia q sirve para realizar calculos internos entre ITRFs

Dim X As Double 'coordenada X en cartesiana

Dim Y As Double 'coordenada Y en cartesiana

Dim Z As Double 'coordenada Z en cartesiana

Dim Vx As Double 'velocidad en X

Dim Vy As Double 'velocidad en Y

Dim Vz As Double 'velocidad en Z

Dim ReCalc As Boolean 'Recalculo, aquí, las coordenadas de salida se vuelven de entrada

Dim o\_Excel As Object 'variable para excel

Dim o\_Libro As Object

Dim o\_Hoja As Object

#### " Funcion para cambiar la epoca de acuerdo el ITRF seleccionado

Private Function Epoca\_ITRF(ByVal Epoca As Double, ByVal ITRFs As String) As Boolean

Select Case ITRFs

Case "ITRF94" 'ITRF94, época de referencia 1995.4

If Epoca <> 1995.4 Then

tj = 1995.4

Epoca\_ITRF = True

Exit Function

End If

Case "ITRF00" 'ITRF00, época de referencia 2000.4

If Epoca <> 2000.4 Then

tj = 2000.4

Epoca\_ITRF = True

Exit Function

End If

Case "ITRF05" 'ITRF00, época de referencia a gusto del usuario

If Epoca <> 2005 Then

tj = t0

Epoca\_ITRF = True

Exit Function

End If

Case Else

Epoca\_ITRF = False

Exit Function

End Select

End Function

#### ' Funcion para abrir el archivo desde Excel y procesar los puntos

Private Sub btAbrirArchivo\_Click()

AbreArchivo.ShowOpen ' Abrimos el dialog para buscar el archivo excel

If Not AbreArchivo.FileName = "" Then " comprobamos que tenemos un archivo seleccionado

If AbreArchivo.FilterIndex = 2 Then " Comprobamos que seleccionamos el archivo de tipo xls

Call Excel\_FlexGrid(AbreArchivo.FileName, FlexArchivo, "Hoja1\$")

End If

End If

End Sub

#### ' Funcion para el ingreso de un nuevo ITRF (ej: ITRF 2008)

Private Sub btIngresoITRF\_Click()

frmITRF.Show (vbModal)

End Sub

#### " Funcion para ingreso de nuevos valores



```
Private Sub btNuevo_Click()
    Limpia_Resultados
    Limpia_Txt_Punto
End Sub
```

**"Funcion para el boton salir de la aplicacion**

```
Private Sub btSalir_Click()
    End
End Sub
```

**'Funcion para el boton que el abre el programa VMS09**

```
Private Sub btVMS_Click()
    Dim Vms As Double
    If Dir$(App.Path & "\\Vemos2009\VMS2009.exe") <> "" Then
        Vms = Shell(App.Path & "\\Vemos2009\VMS2009.exe", vbNormalFocus)
    Else
        bg = MsgBox("El programa VMS09 no existe", vbExclamation, "ATENCIÓN") 'mensaje q se despliega si no encuentra el archivo q contiene al VMS09
    End If
End Sub
```

**'Comprobacion de ingreso de datos**

```
Private Sub cbEO_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    KeyAscii = NumerosOE(KeyAscii)
End Sub
```

**'Funcion de seleccion del ITRF to, época de referencia de salida, dependiendo de lo q el usuario escoja**

```
Private Sub cbITRF_to_Click()
    Txt_to.Enabled = False
    Select Case cbITRF_to.Text
        Case "ITRF94"
            Txt_to.Text = "1995.4"
        Case "ITRF00"
            Txt_to.Text = "2000.4"
        Case "ITRF05"
            Txt_to.Text = ""
            Txt_to.Enabled = True
        Case "IGS05"
            Txt_to.Text = ""
            Txt_to.Enabled = True
        Case "Nuevo"
            Txt_to.Text = ""
            Txt_to.Enabled = True
            If cbITRF_ti.Text <> "Nuevo" Then
                frmITRF.Show (vbModal)
            End If
    End Select

    If cbITRF_to.Text = cbITRF_ti.Text Then
        Command2.Enabled = False
        MsgBox "Debe seleccionar otro ITRF distinto a " & cbITRF_ti.Text 'mensaje q se despliega para q el usuario no seleccione el mismo ITRF (condición del programa)
    Else
        Command2.Enabled = True
    End If
End Sub
```

**'Funcion de seleccion del ITRF ti época de referencia inicial, dependiendo de lo q el usuario escoja**

```
Private Sub cbITRF_ti_Click()
    Txt_ti.Enabled = False
    Select Case cbITRF_ti.Text
        Case "ITRF94"
            Txt_ti.Text = "1995.4"
        Case "ITRF00"
            Txt_ti.Text = "2000.4"
        Case "ITRF05"
            Txt_ti.Text = ""
            Txt_ti.Enabled = True
        Case "IGS05"
            Txt_ti.Text = ""
            Txt_ti.Enabled = True
        Case "Nuevo"
            Txt_ti.Text = ""
            Txt_ti.Enabled = True
    End Select
```

```

        If cbITRF_to.Text <> "Nuevo" Then
            frmITRF.Show (vbModal)
        End If
    End Select

    If cbITRF_ti.Text = cbITRF_to.Text Then
        Command2.Enabled = False
        MsgBox "Debe seleccionar otro ITRF distinto a " & cbITRF_to.Text 'mensaje q se despliega para q el usuario no seleccione el mismo ITRF (condición del programa)'
    Else
        Command2.Enabled = True
    End If
End Sub

'Comprobacion de datos
Private Sub cboNS_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    KeyAscii = NumerosNS(KeyAscii)
End Sub

'Funcion principal del boton calcular
Private Sub Command2_Click()
    resp = 0

'Para comprobar que todos los datos esten ingresados correctamente
'comprobacion de ingreso de coordenadas en grados, minutos, segundos
If (txt_Fi_Grados.Text = "" Or txt_Fi_Min.Text = "" Or txt_Lbd_Seg.Text = "" Or txt_Lbd_Grados.Text = "" Or txt_Lbd_Min.Text = "" Or txt_Lbd_Seg.Text = "") And opPunto.Value And opGraMinSeg.Value Then
    resp = MsgBox("Error falta ingreso de coordenadas", vbOKOnly + vbExclamation, "Error")'mensaje q se despliega si los datos no se ingresan
End If

If (txt_Fi.Text = "" Or txt_Lambda.Text = "") And opGrados.Value And opGrados.Value Then
    resp = MsgBox("Error falta ingreso de coordenadas", vbOKOnly + vbExclamation, "Error")'mensaje q se despliega si los datos no se ingresan
End If

'comprobacion de ingreso de datos
If (txt_He.Text = "" Or cboNS.Text = "" Or cbEO.Text = "") And opGrados.Value And opGrados.Value Then
    resp = MsgBox("Error falta ingreso de coordenadas", vbOKOnly + vbExclamation, "Error")'mensaje q se despliega si los datos no se ingresan
End If

If Txt_ti.Text = "" Or Txt_to = "" Then
    resp = MsgBox("Error falta de las Epocas", vbOKOnly + vbExclamation, "Error")'mensaje q se despliega si los datos no se ingresan
End If

If resp = 0 Then

'ValorITRFs
Select Case cbITRF_ti
    Case "Nuevo"
        cb1 = 6
    Case "IGS05"
        cb1 = 5
    Case "ITRF05"
        cb1 = 4
    Case "ITRF00"
        cb1 = 3
    Case "ITRF94"
        cb1 = 2
End Select

Select Case cbITRF_to
    Case "Nuevo"
        cb2 = 6
    Case "IGS05"
        cb2 = 5
    Case "ITRF05"
        cb2 = 4
    Case "ITRF00"
        cb2 = 3
    Case "ITRF94"
        cb2 = 2
End Select
' parámetros geométricos Elipsoide GRS80

```

```
a = 6378137 'semieje mayor
f = 1 / 298.257222101 'achatamiento
```

```
ext = 2 * f - f ^ 2 'formula de la primera excentricidad
```

```
"Tipo cartesianas
```

```
If opCartesianas.Value Then
```

```
  X = Val(Txt_X)
```

```
  Y = Val(Txt_Y)
```

```
  Z = Val(txt_He)
```

```
'sustitucion de variables para realizar calculos internos
```

```
  Xt = X
```

```
  Yt = Y
```

```
  Zt = Z
```

```
Else
```

```
"Tipo geodesicas grados, Minutos y segundos
```

```
If opGraMinSeg.Value Then
```

```
  fi = Val(txt_Fi_Grados) + Val(txt_Fi_Min) / 60 + Val(txt_Fi_Seg) / 3600
```

```
  lambda = Val(txt_Lbd_Grados) + Val(txt_Lbd_Min) / 60 + Val(txt_Lbd_Seg) / 3600
```

```
  h = Val(txt_He)
```

```
  If cboNS = "S" Then 'condicion, si es norte es positivo, si es sur es negativo
```

```
    fi = fi * (-1)
```

```
  End If
```

```
  If cbEO = "O" Then 'condicion, si es este es positivo, si es oeste es negativo
```

```
    lambda = lambda * (-1)
```

```
  End If
```

```
Else
```

```
"Tipo geodesicas grados
```

```
  fi = Val(txt_Fi)
```

```
  lambda = Val(txt_Lambda)
```

```
  h = Val(txt_He)
```

```
  If cboNS = "S" Then
```

```
    fi = fi * (-1)
```

```
  End If
```

```
  If cbEO = "O" Then
```

```
    lambda = lambda * (-1)
```

```
  End If
```

```
End If
```

```
Convertir los valore de fi y lamba en Radianes
```

```
fi = (fi * 3.1415926535898) / 180
```

```
lambda = (lambda * 3.1415926535898) / 180
```

```
'parametros de Grs80'
```

```
n = a / (Sqr(1 - (ext * Sin(fi) ^ 2)))
```

```
'formulas de conversión de coordenadas geodésicas a cartesianas
```

```
  X = (n + h) * Cos(fi) * Cos(lambda)
```

```
  Y = (n + h) * Cos(fi) * Sin(lambda)
```

```
  Z = (n * (1 - ext) + h) * Sin(fi)
```

```
End If
```

```
'Valores de velociades
```

```
Vx = Val(txt_Vx)
```

```
Vy = Val(txt_Vy)
```

```
Vz = Val(txt_Vz)
```

```
'Limpa resultados
```

```
Limpia_Resultados
```

```
ReCalc = False
```

```
NroCalculo = 1
```

```
'Transformacion de epoca de referencia'
```

```
Do
```

```
'de ti a to'
```

```
If Not ReCalc Then
```

```
  t0 = Val(Txt_to)
```

```
  tj = Val(Txt_ti)
```

```
  ti = Val(Txt_ti)
```

```
  Valcb1 = cb1
```

```
  Valcb2 = cb2
```

```
Else
```

```
  t0 = Val(Txt_ti)
```

```
  tj = Val(Txt_to)
```

```
  ti = Val(Txt_to)
```

```

Valcb1 = cb2
Valcb2 = cb1
X = Xt
Y = Yt
Z = Zt
End If

' Transformacion de ITRF's
If Valcb1 > Valcb2 Then
  Signo = 1
  i = Valcb1 - 1
  Do
    Calculo_ITRF i
    i = i - 1
  Loop While i >= Valcb2
Else
  Signo = -1
  For i = Valcb1 To Valcb2 - 1
    Calculo_ITRF i
  Next i
End If

' Calculo de Velocidades
If op7Parametros.Value Then

  If Epoca_ITRF(ti, cbITRF_ti) Then
    Cambio_Epoca ti, tj
    ti = tj
  End If

  If Epoca_ITRF(t0, cbITRF_t0) Then
    Cambio_Epoca ti, tj
    Cambio_Epoca tj, t0
  Else
    Cambio_Epoca ti, t0
  End If

End If

' formulas para Transformar a geodesicas'
' parámetros geometricos Elipsoide GRS80

b = a * (1 - f) 'semieje menor

ext2 = (a ^ 2 - b ^ 2) / b ^ 2 'segunda excentricidad
p = Sqr(Xt ^ 2 + Yt ^ 2)
te = Atn((Zt * a) / (p * b))

'//// respuesta'
fi = Atn((Zt + ext2 * b * Sin(te) ^ 3) / (p - ext * a * Cos(te) ^ 3))
lambda = Atn(Yt / Xt)

n = a / (Sqr(1 - (ext * Sin(fi) ^ 2)))
he = (p / Cos(fi)) - n

'Conversion del resultado a Grados, minutos y Segundos
If opGraMinSeg.Value Then
  fi = (fi * 180) / 3.1415926535898
  lambda = (lambda * 180) / 3.1415926535898
  FiGR = fi
  If fi < 0 Then
    FiMin = ((fi - Fix(fi)) * 60) * -1
  Else
    FiMin = (fi - Fix(fi)) * 60
  End If
  FiSeg = (FiMin - Fix(FiMin)) * 60

  lbdGR = lambda
  If lambda < 0 Then
    lbdMin = ((lambda - Fix(lambda)) * 60) * -1
  Else
    lbdMin = (lambda - Fix(lambda)) * 60
  End If

```

```

lbdSeg = (lbdMin - Fix(lbdMin)) * 60

fiii = Fix(fi) & "" & fi - Fix(fi) & ""

'para grados, minutos y segundos
' número de decimales para el caso de grados, minutos y segundos
If Not ReCalc Then
    flexresultados.AddItem NroCalculo & vbTab & Fix(FiGR) & "" & Fix(FiMin) & "" & Round(FiSeg, 4) & vbTab &
    Fix(lbdGR) & "" & Fix(lbdMin) & "" & Round(lbdSeg, 4) & vbTab & Round(he, 4) & vbTab & ""
Else
    flexresultados.AddItem NroCalculo & vbTab & Fix(FiGR) & "" & Fix(FiMin) & "" & Round(FiSeg, 4) & vbTab &
    Fix(lbdGR) & "" & Fix(lbdMin) & "" & Round(lbdSeg, 4) & vbTab & Round(he, 4) & vbTab & ""
End If

'para grados
' número de decimales para el caso de grados
ElseIf opGrados.Value Then
    fi = (fi * 180) / 3.1415926535898
    lambda = (lambda * 180) / 3.1415926535898

    If Not ReCalc Then
        flexresultados.AddItem NroCalculo & vbTab & Round(fi, 9) & vbTab & Round(lambda, 9) & vbTab & Round(he, 4) & vbTab
        & ""
    Else
        flexresultados.AddItem NroCalculo & vbTab & Round(fi, 9) & vbTab & Round(lambda, 9) & vbTab & Round(he, 4) & vbTab
        & ""
    End If
Else

'Ingresa valores de cartesianas sin conversión
'número de decimales para el caso de cartesianas
If Not ReCalc Then
    flexresultados.AddItem NroCalculo & vbTab & Str(Round(Xt, 4)) & vbTab & Str(Round(Yt, 4)) & vbTab & Str(Round(Zt, 4))
    & vbTab & ""
Else
    flexresultados.AddItem NroCalculo & vbTab & Str(Round(Xt, 4)) & vbTab & Str(Round(Yt, 4)) & vbTab & Str(Round(Zt, 4))
    & vbTab & ""
End If
End If

'Comprobacion de datos para el recalcu
If chkComprueba.Value = 1 Then' para verificar si es necesario la comprobacion (el recalcu o regreso de la transformación)
    If ReCalc Then
        ReCalc = False
    Else
        ReCalc = True
    End If
End If
NroCalculo = NroCalculo + 1
Loop While ReCalc = True '' bucle para realizar las tranformaciones, en caso de tener la omprobación vuelve ejecuta todo
If flexresultados.Rows > 1 Then
    GuardarComo.Enabled = True
    ExportarExcel.Enabled = True
End If
StatusBar1.Panels.Item(1).Text = "Calculo de: " & cbITRF_ti.Text & " a " & cbITRF_to.Text

End If
End Sub

'Cambio de epoca de las velociaddes
Private Sub Cambio_Epoca(ByVal ati As Double, ByVal at0 As Double)
    X = Xt + (at0 - ati) * Vx
    Y = Yt + (at0 - ati) * Vy
    Z = Zt + (at0 - ati) * Vz
    Xt = X
    Yt = Y
    Zt = Z

End Sub

'Calculo de los ITRFs
Private Sub Calculo_ITRF(ByVal nroITRF As Integer)
    epocitrf = ""

' Funcion que calcula IGS05 a ITRF05 => +Signo // ITRF05 a IGS05 => -Signo
If nroITRF = 4 Then

```

```

tk = t0
If Signo > 0 Then
  tj = ti
  epocitr = "IGS05"
Else
  tj = t0
  epocitr = "IGS05"
End If
' Valores de 7 parametros
Tx = 0.00165 * Signo
Ty = -0.00016 * Signo
Tz = 0.00236 * Signo
Rx = (-5.4202169548047 * 10 ^ -11) * Signo
Ry = (-3.359758810089 * 10 ^ -11) * Signo
Rz = (-2.2301429331039 * 10 ^ -12) * Signo
d = (-1.85533 * 10 ^ -9) * Signo

' Valores de los Rates de los 7 parametros
TTx = 0 * Signo
TTY = 0 * Signo
TTz = 0 * Signo
RRx = 0 * Signo
RRy = 0 * Signo
RRz = 0 * Signo
dd = 0 * Signo
End If

' Funcion que calcula ITRF05 a ITRF00 => +Signo // ITRF00 a ITRF05 => -Signo
If nroITRF = 3 Then
  tk = Val("2000.0")
  If Signo > 0 Then
    epocitr = "ITRF00"
  Else
    epocitr = "ITRF05"
  End If
  Tx = 0.0001 * Signo
  Ty = -0.0008 * Signo
  Tz = -0.0058 * Signo
  Rx = 0
  Ry = 0
  Rz = 0
  d = (0.4 * 10 ^ -9) * Signo

  ' Valores de los Rates de los 7 parametros
  TTx = -0.0002 * Signo
  TTy = 0.0001 * Signo
  TTz = -0.0018 * Signo
  RRx = 0 * Signo
  RRy = 0 * Signo
  RRz = 0 * Signo
  dd = (0.08 * 10 ^ -9) * Signo
End If

' Funcion que calcula ITRF00 a ITRF94 => +Signo // ITRF94 a ITRF00 => -Signo
If nroITRF = 2 Then
  tk = Val("1997.0")
  If Signo > 0 Then
    epocitr = "ITRF94"
  Else
    epocitr = "ITRF00"
  End If

  Tx = 0.0067 * Signo
  Ty = 0.0061 * Signo
  Tz = -0.0185 * Signo
  Rx = 0
  Ry = 0
  Rz = 0
  d = (1.55 * 10 ^ -9) * Signo

  ' Valores de los Rates de los 7 parametros
  TTx = 0 * Signo
  TTy = -0.0006 * Signo
  TTz = -0.0014 * Signo
  RRx = 0 * Signo
  RRy = 0 * Signo

```

```

RRz = (-9.69627362 * 10 ^ -11) * Signo
dd = (0.01 * 10 ^ -9) * Signo
End If

XXX = Xt
YYY = Yt
ZZZ = Zt

If op7Parametros.Value Then
' ---- Valores de 7 Parámetros
'Modelo de Helmert
Xt = Xt + Tx + ((d * Xt) + (-Rz * Yt) + (Ry * Zt))
Yt = Yt + Ty + ((Rz * Xt) + (d * Yt) + (-Rx * Zt))
Zt = Zt + Tz + ((-Ry * Xt) + (Rx * Yt) + (d * Zt))

' ---- Valores de 14 Parámetros
Else
  If Epoca_ITRF(ti, epocitr) Then
    Cambio_Epoca ti, tj
    If Not ReCalc Then
      ti = tj
    Else
      Tempt = tj
      tj = ti
      ti = Tempt
    End If
  Else
    If Not ReCalc And epocitr <> "IGS05" Then
      Cambio_Epoca ti, tj
    End If
  End If

  If epocitr = "IGS05" Then
    Xo = Xt + Tx + ((d * Xt) + (-Rz * Yt) + (Ry * Zt))
    Yo = Yt + Ty + ((Rz * Xt) + (d * Yt) + (-Rx * Zt))
    Zo = Zt + Tz + ((-Ry * Xt) + (Rx * Yt) + (d * Zt))

    Xt = Xo
    Yt = Yo
    Zt = Zo

    If ReCalc And epocitr = "IGS05" Then
      Cambio_Epoca ti, tj
    End If

  Else
'Formula Rigurosa, q se la dividio para facilidad de cálculo ( la formula se encuentra en Soler y Marshall, 2002)
'-- Calculo Coordenadas X
AX = Tx + ((tj - tk) * TTx)
BX = (1 + d) * (1 + Rz - Ry)
CX = (tj - tk) * (((1 + d) * (0 + RRz - RRY)) + (dd * (1 + Rz - Ry)))
DX = (tj - tk) ^ 2 * dd * (0 + RRz + RRY)

'-- Calculo Coordenadas Y
AY = Ty + ((tj - tk) * TTY)
By = (1 + d) * (-Rz + 1 + Rx)
CY = (tj - tk) * (((1 + d) * (-RRz + 0 + RRx)) + (dd * (-Rz + 1 + Rx)))
DY = (tj - tk) ^ 2 * dd * (-RRz + 0 + RRx)

'-- Calculo Coordenadas Z
AZ = Tz + ((tj - tk) * TTz)
BZ = (1 + d) * (Ry - Rx + 1)
CZ = (tj - tk) * (((1 + d) * (RRy - RRx + 0)) + (dd * (Ry - Rx + 1)))
DZ = (tj - tk) ^ 2 * dd * (RRy - RRx + 0)

'Formula Rigurosa total
Xo = AX + ((BX + CX + DX) * Xt)
Yo = AY + ((By + CY + DY) * Yt)
Zo = AZ + ((BZ + CZ + DZ) * Zt)

Xt = Xo
Yt = Yo
Zt = Zo

End If
End If 'fin 14 parámetros

```

End Sub

**'Funcion del boton para abrir archivo en Excel**

```
Private Sub Command3_Click()
  AbreArchivo.ShowOpen
End Sub
```

**'Funcion para guardar el resultado en Excel**

```
Private Sub ExportarExcel_Click()
  DialGuardarExcel.ShowSave
  If Not DialGuardarExcel.FileName = "" Then
    If Exportar_Excel(DialGuardarExcel.FileName, flexresultados) Then
      box = MsgBox(" Datos exportados en " & DialGuardarExcel.FileName, vbInformation)
    End If
  End If
End Sub
```

**'Funcion para exportar el archivo a Excel**

```
Public Function Exportar_Excel(sOutputPath As String, FlexGrid As Object) As Boolean
```

```
  On Error GoTo Error_Handler
```

```
  Dim Fila As Long
  Dim Columna As Long
```

**' -- Crea el objeto Excel, el objeto workbook y el objeto sheet**

```
  Set o_Excel = CreateObject("Excel.Application")
  Set o_Libro = o_Excel.Workbooks.Add
  Set o_Hoja = o_Libro.Worksheets.Add
```

```
  o_Hoja.cells(3, 1).Value = "Nro"
  If opCartesianas.Value Then
    o_Hoja.cells(3, 2).Value = "X"
    o_Hoja.cells(3, 3).Value = "Y"
    o_Hoja.cells(3, 4).Value = "Z"
  Else
    o_Hoja.cells(3, 2).Value = "Latitud"
    o_Hoja.cells(3, 3).Value = "Longitud"
    o_Hoja.cells(3, 4).Value = "h"
  End If
  o_Hoja.cells(3, 5).Value = "Observaciones"
```

**' -- Bucle para Exportar los datos**

```
  With FlexGrid
    For Fila = 1 To .Rows - 1
      For Columna = 0 To .Cols - 1
        o_Hoja.cells(Fila + 3, Columna + 1).Value = .TextMatrix(Fila, Columna)
      Next
    Next
  End With
  o_Libro.Close True, sOutputPath
' -- Cerrar Excel
  o_Excel.Quit
' -- Terminar instancias
  Call Descargar(o_Excel, o_Libro, o_Hoja)
  Exportar_Excel = True
Exit Function
```

**' -- Controlador de Errores**

```
Error_Handler:
' -- Cierra la hoja y el la aplicación Excel
  If Not o_Libro Is Nothing Then o_Libro.Close False
  If Not o_Excel Is Nothing Then o_Excel.Quit
  Call Descargar(o_Excel, o_Libro, o_Hoja)
  If Err.Number <> 1004 Then MsgBox Err.Description, vbCritical
End Function
```

**' \-- Eliminar objetos para liberar recursos**

```
Private Sub Descargar(o_Excel As Object, o_Libro As Object, o_Hoja As Object)
  If Not o_Excel Is Nothing Then Set o_Excel = Nothing
  If Not o_Libro Is Nothing Then Set o_Libro = Nothing
  If Not o_Hoja Is Nothing Then Set o_Hoja = Nothing
End Sub
```

```
Private Sub Form_Load()
```



```

    Limpia_Resultados
End Sub
'Limpia resultados de la tabla
Private Sub Limpia_Resultados()
    flexresultados.Clear
    If opCartesianas.Value Then
        flexresultados.FormatString = " Nro|X (m)|Y (m)|Z (m)|Observaciones"
    Else
        flexresultados.FormatString = " Nro|Latitud|Longitud|h|Observaciones"
    End If
    flexresultados.Rows = 1
    flexresultados.ColWidth(0) = 500
    flexresultados.ColWidth(1) = 1700
    flexresultados.ColWidth(2) = 1700
    flexresultados.ColWidth(3) = 1700
    flexresultados.ColWidth(4) = 2000
    GuardarComo.Enabled = False
    ExportarExcel.Enabled = False
End Sub

" Funcion del Menu Guardar Como que realiza la exportacion a un archivo de Excel
Private Sub GuardarComo_Click()
    DialGuardarExcel.ShowSave
    If Not DialGuardarExcel.FileName = "" Then
        If Exportar_Excel(DialGuardarExcel.FileName, flexresultados) Then
            box = MsgBox(" Datos exportados en " & DialGuardarExcel.FileName, vbInformation)
        End If
    End If
End Sub

'Funcion para abrir el manual de usuario
Private Sub Manual_Usuario_Click()
    Dim Vms As Double
    If Dir$(App.Path & "\Manual Usuario.pdf") <> "" Then
        Vms = Shell("rundll32.exe url.dll,FileProtocolHandler " & (App.Path & "\Manual Usuario.pdf"), vbNormalFocus)
    Else
        bg = MsgBox("El Manual de Usuario no existe", vbExclamation, "ATENCIÓN") 'mensaje q se despliega cuando no encuentra el manual de usuario
    End If
End Sub

'Funcion par deshabilitar campos que no corresponden para abrir por achivo
Private Sub opArchivo_Click()
    Limpia_Resultados
    Limpia_Txt_Punto
    FlexArchivo.Visible = True
    btAbrirArchivo.Visible = True

    txt_Fi_Grados.Visible = False
    txt_Fi_Min.Visible = False
    txt_Fi_Seg.Visible = False

    txt_Lbd_Grados.Visible = False
    txt_Lbd_Min.Visible = False
    txt_Lbd_Seg.Visible = False

    txt_Fi.Visible = False
    txt_Lambda.Visible = False

    txt_He.Visible = False
    txt_Vx.Visible = False
    txt_Vy.Visible = False
    txt_Vz.Visible = False
    cbONS.Visible = False
    cbEO.Visible = False
End Sub

'Funcion para deshabilitar campos que no corresponden a la transformacion por cartesianas
Private Sub opCartesianas_Click()
    Limpia_Resultados
    Limpia_Txt_Punto
    txt_Fi_Grados.Visible = False
    txt_Fi_Min.Visible = False
    txt_Fi_Seg.Visible = False

    txt_Lbd_Grados.Visible = False

```

```

txt_Lbd_Min.Visible = False
txt_Lbd_Seg.Visible = False

txt_Fi.Visible = False
txt_Lambda.Visible = False
cboNS.Visible = False
cbEO.Visible = False

Txt_X.Visible = True
Txt_Y.Visible = True

fr_Fi.Caption = "X (m)"
fr_Lambda.Caption = "Y (m)"
fr_H.Caption = "Z (m)"
StatusBar1.Panels.Item(2).Text = "Coordenadas Cartesianas (m)"
End Sub

```

**'Funcion para deshabilitar campos que no corresponden a la transformacion geodesicas por grados**

```

Private Sub opGrados_Click()
  Limpia_Resultados
  Limpia_Txt_Punto
  Activa_Desactiva_txt False
  fr_Fi.Caption = "Latitud"
  fr_Lambda.Caption = "Longitud"
  fr_H.Caption = "h"
  StatusBar1.Panels.Item(2).Text = "Coordenadas Geodésicas (°)"
End Sub

```

**'Funcion para deshabilitar campos que no corresponden a la transformacion geodesicas por grados, minutos y segundos**

```

Private Sub opGraMinSeg_Click()

  Limpia_Resultados
  Limpia_Txt_Punto
  Activa_Desactiva_txt True
  fr_Fi.Caption = "Latitud"
  fr_Lambda.Caption = "Longitud"
  fr_H.Caption = "h"
  StatusBar1.Panels.Item(2).Text = "Coordenadas Geodésicas (° ' ")
End Sub

```

**'Funcion para activar o desactivar casillas**

```

Private Sub Activa_Desactiva_txt(ByVal Bol As Boolean)
  txt_Fi_Grados.Visible = Bol
  txt_Fi_Min.Visible = Bol
  txt_Fi_Seg.Visible = Bol

  txt_Lbd_Grados.Visible = Bol
  txt_Lbd_Min.Visible = Bol
  txt_Lbd_Seg.Visible = Bol

  txt_Fi.Visible = Not Bol
  txt_Lambda.Visible = Not Bol

  Txt_X.Visible = False
  Txt_Y.Visible = False

  txt_He.Visible = True
  txt_Vx.Visible = True
  txt_Vy.Visible = True
  txt_Vz.Visible = True
  cboNS.Visible = True
  cbEO.Visible = True
End Sub

```

**'Funcion para limpiar casillas y poder ingresar nuevos datos**

```

Private Sub Limpia_Txt_Punto()
  txt_Fi_Grados.Text = ""
  txt_Fi_Min.Text = ""
  txt_Fi_Seg.Text = ""

  txt_Lbd_Grados.Text = ""
  txt_Lbd_Min.Text = ""
  txt_Lbd_Seg.Text = ""

  txt_Fi.Text = ""
  txt_Lambda.Text = ""

```

```

txt_He.Text = ""
txt_Vx.Text = ""
txt_Vy.Text = ""
txt_Vz.Text = ""
Txt_X.Text = ""
Txt_Y.Text = ""
End Sub

```

**'Funcion de seleccion de ingreso de coordenadas por punto**

```

Private Sub opPunto_Click()
    Limpia_Txt_Punto
    Limpia_Resultados
    FlexArchivo.Visible = False
    btAbrirArchivo.Visible = False
    If opGraMinSeg.Value Then
        Activa_Desactiva_txt True
    Else
        Activa_Desactiva_txt False
    End If
End Sub

```

```

Private Sub Salir_Click()
    End
End Sub

```

**'Comprobacion de datos de entrada**

**" funciones para comprobar los datos ingresado, solo numeros, puntos y signo -, mediante codigo Ascii**

```

Private Sub txt_Fi_Grados_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    KeyAscii = NumerosSinP(KeyAscii)
End Sub

```

```

Private Sub txt_Fi_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    If KeyAscii = 46 Then
        If InStr(txt_Fi.Text, ".") Then
            KeyAscii = 0
        Else
            KeyAscii = NumerosPunt(KeyAscii)
        End If
    Else
        KeyAscii = NumerosPunt(KeyAscii)
    End If
End Sub

```

```

Private Sub txt_Fi_Min_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    KeyAscii = NumerosSinP(KeyAscii)
End Sub

```

```

Private Sub txt_Fi_Seg_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    If KeyAscii = 46 Then
        If InStr(txt_Fi_Seg.Text, ".") Then
            KeyAscii = 0
        Else
            KeyAscii = NumerosPunt(KeyAscii)
        End If
    Else
        KeyAscii = NumerosPunt(KeyAscii)
    End If
End Sub

```

```

Private Sub txt_He_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    If KeyAscii = 46 Then
        If InStr(txt_He.Text, ".") Then
            KeyAscii = 0
        Else
            KeyAscii = Numeros(KeyAscii)
        End If
    ElseIf KeyAscii = 45 Then
        If InStr(txt_He.Text, "-") Then
            KeyAscii = 0
        Else
            KeyAscii = Numeros(KeyAscii)
        End If
    Else
        KeyAscii = Numeros(KeyAscii)
    End If
End Sub

```

```

End Sub

Private Sub txt_Lambda_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    If KeyAscii = 46 Then
        If InStr(txt_Lambda.Text, ".") Then
            KeyAscii = 0
        Else
            KeyAscii = NumerosPunt(KeyAscii)
        End If
    Else
        KeyAscii = NumerosPunt(KeyAscii)
    End If
End Sub

Private Sub txt_Lbd_Grados_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    KeyAscii = NumerosSinP(KeyAscii)
End Sub

Private Sub txt_Lbd_Min_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    KeyAscii = NumerosSinP(KeyAscii)
End Sub

Private Sub txt_Lbd_Seg_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    If KeyAscii = 46 Then
        If InStr(txt_Lbd_Seg.Text, ".") Then
            KeyAscii = 0
        Else
            KeyAscii = NumerosPunt(KeyAscii)
        End If
    Else
        KeyAscii = NumerosPunt(KeyAscii)
    End If
End Sub

Private Sub txt_Ti_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    If KeyAscii = 46 Then
        If InStr(txt_Ti.Text, ".") Then
            KeyAscii = 0
        Else
            KeyAscii = NumerosPunt(KeyAscii)
        End If
    Else
        KeyAscii = NumerosPunt(KeyAscii)
    End If
End Sub

Private Sub Txt_to_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    If KeyAscii = 46 Then
        If InStr(Txt_to.Text, ".") Then
            KeyAscii = 0
        Else
            KeyAscii = NumerosPunt(KeyAscii)
        End If
    Else
        KeyAscii = NumerosPunt(KeyAscii)
    End If
End Sub

'-----
' \ -- Función para leer los datos del Excel y cargarlos en el Flex
'-----
Private Sub Excel_FlexGrid(sPath As String, FlexGrid As Object, Optional sSheetName As String = vbNullString)

    Dim i As Long
    Dim n As Long

    On Error GoTo error_sub
    ' -- crea nueva instancia de Excel
    Set o_Excel = CreateObject("Excel.Application")

    ' -- Abrir el libro
    Set o_Libro = o_Excel.Workbooks.Open(sPath)
    ' -- referencia la Hoja, por defecto la hoja activa
    If sSheetName = vbNullString Then
        Set o_Hoja = o_Libro.ActiveSheet
    End If

```

```

Else
    Set o_Hoja = o_Libro.Sheets(1) 'sSheetName)
End If

Filas = 1
Do While Not o_Hoja.Cells(Filas, 1).Value = ""
    vlor_excel = o_Hoja.Cells(Filas, 1).Value
    Filas = Filas + 1
Loop

' -- Setear Grid
With FlexArchivo
    ' -- Especificar la cantidad de filas y columnas
    .Cols = 14 'Columns
    .Rows = Filas - 1
    ' -- Recorrer las filas del FlexGrid para agregar los datos
    For i = 0 To .Rows - 1
        ' -- Establecer la fila activa
        .Row = i
        ' -- Recorrer las columnas del FlexGrid
        For n = 1 To .Cols - 1
            ' -- Establecer columna activa
            .Col = n
            ' -- Asignar a la celda del Flex el contenido de la celda del excel
            .Text = o_Hoja.Cells(i + 2, n).Value
        Next
    Next
End With
' -- Cerrar libro
o_Libro.Close True, sOutputPath
' -- Cerrar Excel
o_Excel.Quit
' -- Descargar objetos para liberar recursos
Call Descargar(o_Excel, o_Libro, o_Hoja)
' -- Errores
Exit Sub
error_sub:
MsgBox Err.Description
If Not o_Libro Is Nothing Then: o_Libro.Close False
If Not o_Excel Is Nothing Then: o_Excel.Quit

Call Descargar(o_Excel, o_Libro, o_Hoja)
Me.MousePointer = vbDefault
End Sub

" funciones para comprobar los datos ingresado, solo numeros, puntos y signo -, mediante codigo Ascii
Private Sub txt_Vx_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    If KeyAscii = 46 Then
        If InStr(txt_Vx.Text, ".") Then
            KeyAscii = 0
        Else
            KeyAscii = Numeros(KeyAscii)
        End If
    ElseIf KeyAscii = 45 Then
        If InStr(txt_Vx.Text, "-") Then
            KeyAscii = 0
        Else
            KeyAscii = Numeros(KeyAscii)
        End If
    Else
        KeyAscii = Numeros(KeyAscii)
    End If
End Sub

'Comprobacion de ingrasso de datos
Private Sub txt_Vy_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    If KeyAscii = 46 Then
        If InStr(txt_Vy.Text, ".") Then
            KeyAscii = 0
        Else
            KeyAscii = Numeros(KeyAscii)
        End If
    ElseIf KeyAscii = 45 Then
        If InStr(txt_Vy.Text, "-") Then
            KeyAscii = 0
        Else

```

```

        KeyAscii = Numeros(KeyAscii)
    End If
Else
    KeyAscii = Numeros(KeyAscii)
End If
End Sub

```

**'Comprobacion de ingreso de datos**

```

Private Sub txt_Vz_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    If KeyAscii = 46 Then
        If InStr(txt_Vz.Text, ".") Then
            KeyAscii = 0
        Else
            KeyAscii = Numeros(KeyAscii)
        End If
    ElseIf KeyAscii = 45 Then
        If InStr(txt_Vz.Text, "-") Then
            KeyAscii = 0
        Else
            KeyAscii = Numeros(KeyAscii)
        End If
    Else
        KeyAscii = Numeros(KeyAscii)
    End If
End Sub

```

**'Comprobacion de ingreso de datos**

```

Private Sub Txt_X_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    If KeyAscii = 46 Then
        If InStr(Txt_X.Text, ".") Then
            KeyAscii = 0
        Else
            KeyAscii = Numeros(KeyAscii)
        End If
    ElseIf KeyAscii = 45 Then
        If InStr(Txt_X.Text, "-") Then
            KeyAscii = 0
        Else
            KeyAscii = Numeros(KeyAscii)
        End If
    Else
        KeyAscii = Numeros(KeyAscii)
    End If
End Sub

```

```

Private Sub Txt_Y_KeyPress(KeyAscii As Integer)
    If KeyAscii = 46 Then
        If InStr(Txt_Y.Text, ".") Then
            KeyAscii = 0
        Else
            KeyAscii = Numeros(KeyAscii)
        End If
    ElseIf KeyAscii = 45 Then
        If InStr(Txt_Y.Text, "-") Then
            KeyAscii = 0
        Else
            KeyAscii = Numeros(KeyAscii)
        End If
    Else
        KeyAscii = Numeros(KeyAscii)
    End If
End Sub

```

## MÓDULO

```

Public Function Numeros(Tecla As Integer) As Integer
    Dim strValido As String
    strValido = "0123456789.-"
    If Tecla > 26 Then
'compara los numeros ke hay en la variable strValido _
        con el numero ingresado(Tecla)
'si el numero ingresado(Tecla) no esta en la variable strValido entonces _
        Tecla = 0, la funcion Chr convierte el numero a ascii
    End If
End Function

```

```

If InStr(strValido, Chr(Tecla)) = 0 Then
Tecla = 0
End If
End If
Numeros = Tecla
End Function

```

```

Public Function NumerosSinP(Tecla As Integer) As Integer
Dim strValido As String
strValido = "0123456789" 'condicion de ingreso, cada numero y signo tiene su codigo Ascii
If Tecla > 26 Then
'compara los numeros ke hay en la variable strValido _
con el numero ingresado(Tecla)
'si el numero ingresado(Tecla) no esta en la variable strValido entonces _
Tecla = 0, la funcion Chr convierte el numero a ascii
If InStr(strValido, Chr(Tecla)) = 0 Then
Tecla = 0
End If
End If
NumerosSinP = Tecla
End Function

```

```

Public Function NumerosPunt(Tecla As Integer) As Integer
Dim strValido As String
strValido = "0123456789." 'condicion de ingreso, cada numero y signo tiene su codigo Ascii
If Tecla > 26 Then
'compara los numeros ke hay en la variable strValido _
con el numero ingresado(Tecla)
'si el numero ingresado(Tecla) no esta en la variable strValido entonces _
Tecla = 0, la funcion Chr convierte el numero a ascii
If InStr(strValido, Chr(Tecla)) = 0 Then
Tecla = 0
End If
End If
NumerosPunt = Tecla
End Function

```

```

Public Function NumerosNS(Tecla As Integer) As Integer
Dim strValido As String
strValido = "NSns"
If Tecla > 26 Then
'compara los numeros ke hay en la variable strValido _
con el numero ingresado(Tecla)
'si el numero ingresado(Tecla) no esta en la variable strValido entonces _
Tecla = 0, la funcion Chr convierte el numero a ascii
If InStr(strValido, Chr(Tecla)) = 0 Then
Tecla = 0
End If
End If
NumerosNS = Tecla
End Function

```

```

Public Function NumerosOE(Tecla As Integer) As Integer
Dim strValido As String
strValido = "OEoe"
If Tecla > 26 Then
'compara los numeros ke hay en la variable strValido _
con el numero ingresado(Tecla)
'si el numero ingresado(Tecla) no esta en la variable strValido entonces _
Tecla = 0, la funcion Chr convierte el numero a ascii
If InStr(strValido, Chr(Tecla)) = 0 Then
Tecla = 0
End If
End If
NumerosOE = Tecla
End Function

```

## **DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Yo, Andrea Galudht Santacruz Jaramillo

DECLARO QUE:

El proyecto de grado titulado “TRANSFORMACIÓN ENTRE EL SISTEMA PSAD56 Y LOS MARCOS DE REFERENCIA ITRF UTILIZANDO LOS MODELOS DE HELMERT Y DE VELOCIDADES DE PLACAS TECTÓNICAS VEMOS”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Sangolquí, 21 de Junio de 2010.

---

Andrea Galudht Santacruz Jaramillo



## A U T O R I Z A C I Ó N

Yo, Andrea Galudht Santacruz Jaramillo

Autorizo a la Escuela Politécnica del Ejército, la publicación en la biblioteca virtual de la Institución del proyecto de grado titulado “TRANSFORMACIÓN ENTRE EL SISTEMA PSAD56 Y LOS MARCOS DE REFERENCIA ITRF UTILIZANDO LOS MODELOS DE HELMERT Y DE VELOCIDADES DE PLACAS TECTÓNICAS VEMOS”,cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 21 de Junio de 2010.

---

Andrea Galudht Santacruz Jaramillo