



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA TIERRA Y LA
CONSTRUCCIÓN

CARRERA DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO
AMBIENTE

PROYECTO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO GEÓGRAFO Y DEL MEDIO AMBIENTE

TEMA: MODELO PILOTO DE PREDICCIÓN ESPACIAL DEL
DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL EN ESTACIONES DE
MONITOREO CONTINUO MEDIANTE TÉCNICAS
GEOESTADÍSTICAS.

AUTORES:

MARTÍNEZ GARRIDO WILLIAM ALEJANDRO
MORILLO ANDRADE ALFONSO RODRIGO

DIRECTOR: ING. MARCO LUNA

SANGOLQUÍ

2015

CERTIFICACIÓN

Ing. Marco Luna

CERTIFICAN QUE:

El proyecto de grado titulado: “MODELO PILOTO DE PREDICCIÓN ESPACIAL DEL DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL EN ESTACIONES DE MONITOREO CONTINUO MEDIANTE TÉCNICAS GEOESTADÍSTICAS”, realizado por los señores WILLIAM ALEJANDRO MARTÍNEZ GARRIDO y ALFONSO RODRIGO MORILLO ANDRADE, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple con las normas estatutarias establecidas en el Reglamento de Estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, por lo que nos permitimos acreditarlo y autorizar su entrega al Sr. Ing. Wilson Jácome, en su calidad de Director de la Carrera de Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente.

El trabajo en mención consta de dos empastados y dos discos compactos, los cuales contienen el documento portátil de Acrobat (pdf).

Sangolquí, Septiembre de 2015

Ing. Marco Luna

DIRECTOR

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Martínez Garrido William Alejandro

Morillo Andrade Alfonso Rodrigo

DECLARAMOS QUE:

El proyecto de grado titulado “MODELO PILOTO DE PREDICCIÓN ESPACIAL DEL DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL EN ESTACIONES DE MONITOREO CONTINUO MEDIANTE TÉCNICAS GEOESTADÍSTICAS”, ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Sangolquí, Septiembre de 2015

Sr. William Martínez

Sr. Alfonso Morillo

AUTORIZACIÓN

Martínez Garrido William Alejandro

Morillo Andrade Alfonso Rodrigo

Autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, la publicación en la biblioteca virtual de la Institución del proyecto de grado “MODELO PILOTO DE PREDICCIÓN ESPACIAL DEL DESPLAZAMIENTO HORIZONTAL EN ESTACIONES DE MONITOREO CONTINUO MEDIANTE TÉCNICAS GEOESTADÍSTICAS”, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, Septiembre de 2015.

Sr. William Martínez

Sr. Alfonso Morillo

DEDICATORIA

La presente investigación va dedicada Dios que me ha permitido llegar a este gran momento de mi vida profesional.

A mis padres y hermano, que han sabido estar presente en todo momento de mi vida y que gracias a sus consejos y bendiciones han sabido guiarme por el camino adecuado hacia mis metas.

A mi sobrino que ha sabido llenar de alegría mi corazón.

A mis amigos que en las buenas y en las malas han sabido permanecer a mi lado sin importarles las circunstancias. Y en general a todas aquellas personas que me han sabido brindar su apoyo y su confianza a través de toda mi vida estudiantil y personal.

William Alejandro Martínez Garrido.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por haberme dado las fuerzas necesarias para nunca rendirme y por ayudarme con salud y vida en todo momento.

A mi madre que siempre ha sabido estar junto a mí, que me ha enseñado sobre valores, honestidad y a nunca darme por vencido, que siempre me ha cuidado y ha estado pendiente porque nunca me falte nada en la vida.

A mi padre que me enseñó a siempre aprender cosas nuevas y que siempre se debe tener las ganas de salir adelante.

A mi hermano que siempre me ha apoyado en cualquier actividad que realice y que siempre me ha ayudado en todos en los problemas que se me han presentado en mi vida.

A Alfonso que desde muy pequeños hemos sido amigos, compañeros de estudios, de tesis y ahora somos colegas profesionales.

A mis amigos en general por siempre estar apoyándome e impulsándome a superarme y seguir adelante.

A mi director Marco Luna y codirector Alexander Robayo por darle honor a su nombre de maestros y que supieron transmitir sus enseñanzas y conocimientos para poder hoy ser un profesional

William Alejandro Martínez Garrido.

DEDICATORIA

La presente investigación, y todo el esfuerzo que esta representa, va dedicada a todas y cada una de las personas que estuvieron envueltas en este proceso de mi vida estudiantil, y que de una manera u otra me brindaron su apoyo y confianza a lo largo de esta etapa de mi vida. De manera especial:

A mis padres, mi hermana, mi sobrina y mi cuñado, Alfonso, Patricia, Paty Alex, Valeska y Fernando, que han sido un apoyo incondicional en cada etapa de mi vida, que con sus sabios consejos, recomendaciones y bendiciones, me dan la fuerza necesaria para continuar en este largo proceso q continuara.

Finalmente a todos mis compañeros, colegas y amigos; por estos años que compartimos juntos momentos inolvidables, que sin duda quedaran en la memoria de cada uno de nuestros corazones, como la mejor etapa de nuestras vidas.

Alfonso Rodrigo Morillo Andrade

AGRADECIMIENTO

Primero y ante todas las cosas quiero agradecer a Dios por concederme la sabiduría y fortaleza para continuar y superar las adversidades, sin el en mi camino no estaría culminando esta etapa tan anhelada.

A mis padres, que gracias a sus consejos, palabras, bendiciones, anécdotas y recomendaciones, que me han guiado por la rienda del éxito y el profesionalismo, teniendo en cuenta que la idea de siempre ser cada día mejor.

A Alejandro por brindarme ese apoyo incondicional desde muy temprana edad, que gustosamente estamos culminando con esta investigación.

A mi director Marco Luna y codirector Alexander Robayo por la entrega profesional al brindarnos un asesoramiento eficaz y oportuno; así como su sincera amistad y comprensión, factores indispensables para la culminación de esta nueva etapa.

Alfonso Rodrigo Morillo Andrade.

INDICE DE CONTENIDO

CERTIFICACIÓN.....	i
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
DEDICATORIA	vi
AGRADECIMIENTO	vii
RESUMEN	xiii
ABSTRACT.....	xiv
CAPITULO I	1
INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 ANTECEDENTES.....	1
1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	3
1.3 JUSTIFICACIÓN	3
1.4 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	4
1.5 OBJETIVOS.....	5
1.5.1 OBJETIVO GENERAL.....	5
1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
1.6 METAS	5
CAPITULO II	6
MARCO TEÓRICO	6
2.1 MODELO DE VELOCIDADES.....	6
2.1.1 MODELO DE INTERPOLACIÓN VEMOS2009	7
2.2 PLACAS TECTÓNICAS EN AMÉRICA DEL SUR.....	8
2.3 SERIES TEMPORALES.....	11
2.3.1 CLASIFICACIÓN DE LAS SERIES TEMPORALES.....	11
2.3.2 COMPONENTES DE UNA SERIE TEMPORAL	12
2.3.3 CLASIFICACIÓN DESCRIPTIVA DE SERIES TEMPORALES	13
2.3.4 ESTIMACIÓN DE LA TENDENCIA.....	13
2.4 GEOESTADÍSTICA.....	15
2.4.1 ANALISIS EXPLORATORIO DE DATOS	16
2.4.2 ANÁLISIS ESTRUCTURAL.....	17

2.4.3	PREDICCIÓN ESPACIAL	20
CAPITULO III		23
PROCESAMIENTO DE DATOS GNSS Y GEOESTADÍSTICOS		23
3.1	DEPURACIÓN DE DATOS	23
3.1.1	TRANSFORMACIÓN DE DATOS CON EL SOFTWARE RUNPKR00	23
3.1.2	TEQC.....	24
3.2	PROCESAMIENTO CON EL SOFTWARE CIENTÍFICO BERNESE	29
3.2.1	PREPARACIÓN DE LOS ARCHIVOS REQUERIDOS PARA EL PROCESAMIENTO.	32
3.2.2	DESCRIPCIÓN DE LOS ARCHIVOS UTILIZADOS EN EL PROCESAMIENTO.	32
3.2.3	SECUENCIA DE PROCESAMIENTO, INSUMO PARA BPE (Bernese Processing Engine). 38	
3.3	VARIOWIN	50
CAPITULO IV		53
MODELAMIENTO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....		53
4.1	GENERALIDADES	53
4.2	ESTADÍSTICAS DE LA REGRESIÓN LINEAL Y DETERMINACIÓN DE VELOCIDADES	54
4.2.1	ALEC	54
4.2.2	CLEC.....	55
4.2.3	CUEC.....	57
4.2.4	GYEC.....	58
4.2.5	GZEC.....	60
4.2.6	LJEC.....	61
4.2.7	MAEC.....	63
4.2.8	MHEC.....	64
4.2.9	PDEC.....	66
4.2.10	RIOP.....	67
4.3	MODELOS GEOESTADÍSTICOS	71
4.3.1	MODELO ESFÉRICO	71
4.3.2	MODELO GAUSSIANO	72
4.3.3	MODELO EXPONENCIAL.....	72
4.4	PROGRAMA PARA EL CÁLCULO DE VELOCIDADES.....	73
CONCLUSIONES.....		76
RECOMENDACIONES.....		78

BIBLIOGRAFÍA.....	79
ANEXOS	81
ANEXO 1.....	81
ANEXO 2.....	82
ANEXO 3.....	83

INDICE DE TABLAS

TABLA 1 Principales funciones utilizadas en el análisis de series temporales.....	15
TABLA 2 Modelos teóricos del semivariograma	19
TABLA 3.- Estadísticas de la Regresión y Velocidades	69
TABLA 4.- Características del semivariograma en la componente X.....	71
TABLA 5.- Características del semivariograma en la componente Y.....	72
TABLA 6.- Características del semivariograma en la componente Z.....	73

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Área de estudio por Provincias	4
Figura 2. Modelo de velocidades para América del Sur y El Caribe (VEMOS2009) referido al ITRF2005.....	7
Figura 3. Esquema de las placas mar adentro de América del Sur.....	9
Figura 4. Ubicación de los eventos registrados por la estación portátil ubicada temporalmente en Celica.....	10
Figura 5. Serie temporal para la estación GNSS RIOP.....	14
Figura 6.- El Semivariograma y sus componentes	18
Figura 7. Comparativa de semivariogramas teóricos.....	19
Figura 8. Ejemplo de transformación utilizando runpkr00.....	23
Figura 9. Ejemplo del archivo creado utilizando runpkr00.....	24
Figura 10. Ejemplo de transformación utilizando teqc.....	25
Figura 11. Ejemplo de los archivos creado utilizando TEQC.....	26
Figura 12. Archivo de observación sin editar.....	27
Figura 13. Archivo de observación editado.....	27

Figura 14. Instrucción y archivos creados en el control de calidad.....	28
Figura 15. Archivo resumen del control de calidad.....	29
Figura 16. Especificación de los subdirectorios de la campaña.....	30
Figura 17. Ejemplo de una session table.	31
Figura 18. Estructura de una campaña.	32
Figura 19. Ejemplo del subdirectorio ATM.	33
Figura 20. Batch para descargar los modelos ionosféricos.	33
Figura 21. Descripción del nombre de los modelos ionosfericos.	34
Figura 22. Ejemplo del subdirectorio ORB.....	34
Figura 23 Batch para descargar las efemérides precisas y los EOP.	35
Figura 24 Descripción del nombre de las efemérides precisas y los EOP.	36
Figura 25 Ejemplo del subdirectorio RAW	37
Figura 26 Ejemplo del subdirectorio STA.....	37
Figura 27: Diagrama de flujo del funcionamiento del BPE	38
Figura 28: Inicio del BPE process.....	40
Figura 29: Secuencia de procesamiento.....	41
Figura 30: Preparación de EOP, orbitas y relojes.....	42
Figura 31: Descripción del procesamiento realizado en el PPP.....	44
Figura 32: Descripción del procesamiento realizado en el RINEX2SINEX	47
Figura 33. Archivo .dat en formato Geo-EAS	50
Figura 34. Archivo .pcf que genera el Prevar2D	51
Figura 35. Archivo que genera el Vario2D para el análisis variográfico.....	51
Figura 36. SemiVariograma que se genera Model	52
Figura 37. Línea de tendencia del componente X de ALEC	54
Figura 38. Línea de tendencia del componente Y de ALEC	54
Figura 39. Línea de tendencia del componente Z de ALEC	55
Figura 40. Línea de tendencia del componente X de CLEC.....	55
Figura 41. Línea de tendencia del componente Y de CLEC.....	56
Figura 42. Línea de tendencia del componente Z de CLEC	56
Figura 43. Línea de tendencia del componente X de CUEC	57
Figura 44. Línea de tendencia del componente Y de CUEC	57
Figura 45. Línea de tendencia del componente Z de CUEC.....	58

Figura 46. Línea de tendencia del componente X de GYEC	58
Figura 47. Línea de tendencia del componente Y de GYEC	59
Figura 48. Línea de tendencia del componente Z de GYEC.....	59
Figura 49. Línea de tendencia del componente X de GZEC.....	60
Figura 50. Línea de tendencia del componente Y de GZEC.....	60
Figura 51. Línea de tendencia del componente Z de GZEC.....	61
Figura 52. Línea de tendencia del componente X de LJEC	61
Figura 53. Línea de tendencia del componente Y de LJEC.....	62
Figura 54. Línea de tendencia del componente Z de LJEC	62
Figura 55. Línea de tendencia del componente X de LJEC.....	63
Figura 56. Línea de tendencia del componente Y de LJEC.....	63
Figura 57. Línea de tendencia del componente Z de LJEC	64
Figura 58. Línea de tendencia del componente X de MHEC.....	64
Figura 59. Línea de tendencia del componente Y de MHEC	65
Figura 60. Línea de tendencia del componente Z de MHEC	65
Figura 61. Línea de tendencia del componente X de PDEC.....	66
Figura 62. Línea de tendencia del componente Y de PDEC.....	66
Figura 63. Línea de tendencia del componente Z de PDEC.....	67
Figura 64. Línea de tendencia del componente X de RIOP.....	67
Figura 65. Línea de tendencia del componente Y de RIOP	68
Figura 66. Línea de tendencia del componente Z de RIOP	68
Figura 67. Semivariograma de la componente X.....	71
Figura 68. Semivariograma de la componente Y.....	72
Figura 69- Semivariograma de la componente Z.....	73
Figura 70: Transformación de Coordenadas	74
Figura 71: Interfaz en Excel del cálculo de velocidades.....	74
Figura 72: Interfaz en Matlab del cálculo de velocidades.....	75

RESUMEN

En el presente proyecto se realiza un modelo de predicción espacial que servirá para la determinación de velocidades en puntos no muestreados. La necesidad de contar con un modelo de predicción local se debe en gran medida a que las precisiones resultantes de los modelos regionales, distan mucho de su realidad, además de que Ecuador se encuentra en una posición espacial de alta actividad geodinámica. El modelamiento matemático ha sido una de las principales herramientas para el cálculo de velocidades ya que calcula un valor medio de desplazamiento en diversos puntos de observación los cuales sirven para predecir valores casi reales en n puntos de interés. El objetivo del estudio fue el de definir un modelo piloto de predicción espacial del desplazamiento horizontal mediante técnicas geoestadísticas que servirá de apoyo en futuros estudios. Se procedió a depurar los datos de las estaciones mediante la herramienta teqc para después procesarlos con el software Bernese 5.0. Con las soluciones finales obtenidas se calculó las velocidades mediante una regresión lineal y utilizando el Arcgis 9.3 se procedió a realizar el semivariograma para determinar el modelo más adecuado para cada componente, finalmente se realizó un programa en Excel y Matlab para que el usuario pueda obtener las velocidades fácilmente, solo ingresando las coordenadas X, Y y Z. El modelo piloto nos ayudó a resolver varias falencias que se podría presentar en un proyecto mayor, además que las velocidades obtenidas a través de estos procesos resultaron buenas para la cantidad de datos que se utilizó.

PALABRAS CLAVES:

- **SEMIVARIOGRAMA**
- **BERNESE**
- **VELOCIDADES**
- **KRIGING**
- **TEQC**

ABSTRACT

In the present Project it is performed a model of spatial prediction that serves for the determination of speeds in not sampled points, the necessity of count with a model of local prediction it's because in a big measure to the details resulting of the regional models, much far of the reality, besides that Ecuador it's in a spatial position of a big geodynamic activity, The mathematical model has been one of the principal tool for the calculation of speeds because it calculated a middle value of displacement in different points of observation which serve to predict values almost real in N points of interest. The objective of the study was define a pilot model of spatial prediction of horizontal displacement through geostatistics techniques that server of support in future studies. It proceeded to depurate the data of the stations through the teqc tool then processing with the software Bernese 5.0. With the finale solutions obtained was calculated the speeds by linear regression using the Arcgis 9.3. It proceeded to perform the semivariogram for determine the more suitable model for each component. Finally, It's performed in Exel and Matlab, as for the user can obtain the speeds easily, only entering the coordinates X, Y and Z. The pilot model help us to resolve several lacks that could present in an advanced Project, besides the obtained speeds through the processes were good for the quantity of data that we used.

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

Los puntos en la superficie se encuentran en constante movimiento, siendo la principal causa la tectónica de placas, el Ecuador se encuentra ubicado en una posición influyente a nivel geodinámico, debido principalmente a la presencia del Rift de las Galápagos (línea base que separa las placas de Nazca y Cocos).

En la actualidad, la generación de datos posicionales con alta precisión favorece para la materialización e implementación de sistemas de referenciales terrestres geocéntricos y para la determinación de la variación posicional que sufren las mediciones a través del tiempo.

Las tecnologías espaciales aplicadas en el área del posicionamiento han avanzado considerablemente en los últimos años, tanto que permiten determinar con gran precisión la posición que ocupan los cuerpos sobre la superficie terrestre, dichos sistemas han tomado en consideración, la implementación de un campo de velocidades de desplazamiento de las placas tectónicas. En Ecuador, la adopción del Sistema Internacional de Referencia Geocéntrico para las Américas (SIRGAS) ha obligado que el concepto de velocidades sea fundamental para ser analizado debido a la dificultad de tener datos referenciales de un punto en dos épocas diferentes, la preocupación es tal que las instituciones dedicadas al campo geodésico y geofísico han moldeado sus estudios en la generación de soluciones confiables que permitan resolver parcialmente dicho problema, un ejemplo de esto son los modelos de velocidades continuas capaces de determinar las variaciones posicionales para un punto en particular mediante interpolación y siendo el modelo regional VEMOS09 la solución más práctica para el Ecuador en la actualidad.

El modelo de velocidades para El Caribe y América del Sur (VEMOS2009), creado por el Doctor Drewes, ha sido calculado mediante el método de los elementos finitos usando un modelo geofísico y por un método de mínimos cuadrados de colocación con funciones de correlación empírica, este fue desarrollado utilizando datos de redes geodinámicas de algunos proyectos entre los más importantes se destacan CASA, SNAPP, CAP entre otros, y datos de redes de monitoreo continuo, de los cuales solamente dos fueron estaciones del Ecuador. El Instituto Geográfico Militar realizó algunos estudios para obtener un campo de velocidades propio con datos de la Red GPS del Ecuador – (RENAGE) y datos de algunas estaciones de la Red GNSS de Monitoreo Continuo del Ecuador (REGME) durante 17 años comenzando en 1994, para la obtención de este campo de velocidades se llegaron a determinar algunos dificultades como por ejemplo: para la campaña GPS de 1998, el uso de los receptores codeless ASHTECH L-XII generó un problema sobre la componente Este; debido a un error de reloj existente en este tipo de receptor, asimismo el procesamiento GPS de 1994, forzó a calcular líneas base muy largas debido a un número reducido de estaciones del IGS existentes en ese tiempo, cuya consecuencia disminuyó la precisión del cálculo (Cisneros, D. and Nocquet, JM. 2011). Asimismo se han encontrado algunas inconsistencias en los archivos de datos siendo corregidos mediante las fichas técnicas, entre los más comunes son la no concordancia de los tipos de antena y domo, lo que genera problemas en la corrección al centro de fase del receptor y razonablemente una baja precisión en los resultados.

Por lo tanto, es necesario realizar la depuración, detección de errores y control de calidad de los datos de mediciones geodésicas satelitales, antes de realizar el procesamiento mediante el software científico BERNSE 5.0 para la determinación del campo de velocidades, el mismo que nos servirá para obtener un modelo de predicción espacial del desplazamiento horizontal para el Ecuador Continental, utilizando técnica geoestadística.

El presente proyecto piloto pretende dar continuidad a las labores de investigación que se están desarrollando y a los proyectos ya iniciados sobre modelo de velocidades que permitirá complementar los datos existentes y garantizar el uso correcto del nuevo Sistema de Referencia para el Ecuador.

1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El Sistema de referencia geocéntrico SIRGAS95 ha ido experimentando cambios a través del tiempo a causa de varios fenómenos geofísicos, movimientos de placas tectónicas, fallas geológicas, movimientos no continuos del terreno producidos por terremotos, etc., por lo cual las coordenadas de SIRGAS95 deben ser corregidas ya que éstas serían válidas para la época 1995,4.

Instituciones internacionales han desarrollado modelo lineales como VEMOS, VELINTER, etc. Actualmente SIRGAS recomienda no utilizar modelos lineales ya que estos no se ajustan al movimiento real de las placas tectónicas.

1.3 JUSTIFICACIÓN

La importancia de contar con un modelo de velocidades propio que se ajuste a las necesidades del país y que nos sirva para trasladar las coordenadas entre épocas, ayudando a corregir la diferencia que existe entre los diferentes ITRFs.

El Instituto Geográfico Militar (IGM) en conjunto con la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE ha realizado un proyecto del marco de referencia el cual carece de un modelo de velocidades, por lo cual este proyecto piloto complementará los estudios del proyecto que se está presentando en la SENEYCYT.

1.4 DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Ecuador es un país situado en América del Sur, que limita al norte con Colombia, al sur y al este con Perú y al oeste con el Océano Pacífico, tiene una extensión de 283.561 km², incluido el archipiélago de Galápagos.

Ecuador se encuentra sobre la línea ecuatorial terrestre por lo cual su territorio se encuentra en los dos hemisferios y se halla asentado sobre las placas sudamericana y de Nazca.

El área de estudio se encuentra comprendida entre las provincias de Chimborazo, Bolívar, Tungurahua, Guayas, Morona Santiago, Cañar, Azuay, El Oro, Loja y Zamora Chinchipe.



Figura 1. Área de estudio por Provincias

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 OBJETIVO GENERAL

Definir un modelo piloto de predicción espacial del desplazamiento horizontal mediante técnicas Geoestadísticas.

1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Procesar los datos crudos obtenidos de diez estaciones de monitoreo continuo del Ecuador (GYEC, RIOP, CUEC, LJEC, MAEC, ALEC, MHEC, GZEC, CLEC, PDEC) durante 3 años.
- Procesar mediante software científico los datos ya depurados de las estaciones.
- Generar un modelo de velocidades utilizando técnicas geoestadísticas.

1.6 METAS

- Datos depurados de las 10 estaciones ya que con ello se lograría determinar todas las inconsistencias existentes en los diferentes archivos RINEX.
- Archivos RINEX que sean coherentes con los archivos LogFile y fichas técnicas.
- Modelo adecuado de predicción espacial del desplazamiento horizontal en MATLAB y en EXCEL.
- Un modelo piloto, fuente de datos e información para un proyecto macro que utilice todas las estaciones de la Red GNSS de Monitoreo Continuo y que ayude a futuras investigaciones sobre estudios geodinámicos, tectónicos y de amenazas sísmicas en el Ecuador.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 MODELO DE VELOCIDADES

Todo modelo de velocidades pretende determinar las variaciones posicionales para un punto cualquiera en un determinado tiempo, para lo cual es indispensable poseer datos de un punto en dos épocas distintas. Para determinar los vectores de desplazamiento V (dx/dt , dy/dt , dz/dt) de un punto cualquiera o de las estaciones de referencia se necesitan una serie de observaciones realizadas que cubran un intervalo mínimo de tiempo de dos años.

Estos vectores de velocidad sirven para trasladar las coordenadas fiduciales desde la época de referencia a la época de observación, como por ejemplo las coordenadas asociadas a SIRGAS95 deben trasladarse desde la época de 1995.4 al día en que se hace el levantamiento GNSS.

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

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

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

Las observaciones obtenidas mediante estaciones de monitoreo continuo GNSS necesitan un análisis y un manejo adecuado para que estas nos entreguen coordenadas de alta precisión.

Según SIRGAS para el procesamiento preciso de datos GNSS se requiere que las coordenadas de las estaciones de referencia estén dadas en la misma época en que se adelanta la medición y que estén asociadas al mismo marco de referencia de las órbitas satelitales. En estaciones de monitoreo continuo esto se ve fácilmente resuelto ya que se cuenta con coordenadas

semanales pero si se trata de un punto cualquiera o de una estación base que no opere de manera continua se debería seguir con otro tipo de procedimiento.

Si las velocidades de la estación de referencia no son conocidas, puede utilizarse el modelo VEMOS2009.

2.1.1 MODELO DE INTERPOLACIÓN VEMOS2009

El Modelo de Velocidades para América del Sur y El Caribe (VEMOS2009) fue creado por Drewes y Heidbach y ha sido calculado a partir de las coordenadas SIRGAS95 y SIRGAS2000.

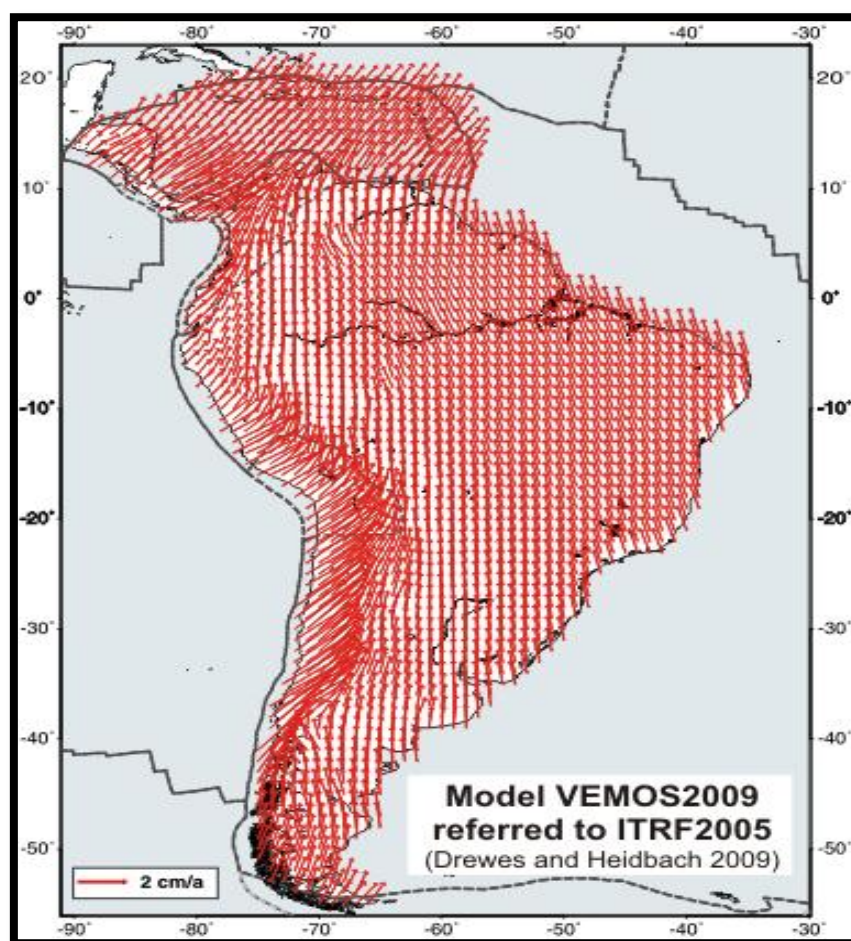


Figura 2. Modelo de velocidades para América del Sur y El Caribe (VEMOS2009) referido al ITRF2005.

Fuente: Página oficial SIRGAS, 2015.

Los datos que fueron utilizados como entrada para dicho modelo fueron las velocidades del marco de referencia para las Américas (Sirgas) y las de otras redes geodinámicas como CASA, CAP, SAGA, etc., lo que generó como resultados velocidades acordes en gran parte a los modelos anteriores.

Hay que tomar en cuenta que en la actualidad se cuenta con una mayor densidad de estaciones de monitoreo continuo y que el procesamiento de los datos GPS ha mejorado enormemente en los últimos años, lo cual es muy importante resaltar ya que al manejar una cuadrícula de 10 x 10 su precisión variara mucho de la realidad.

2.2 PLACAS TECTÓNICAS EN AMÉRICA DEL SUR

El Ecuador se encuentra localizado al nivel del Rift de las Galápagos, zona de expansión oceánica orientada este-oeste, que separa las Placas Nazca y Cocos lo cual nos indica que se encuentra en una zona de alta influencia geodinámica, además coincide con la zona entre los andes Ándes Centrales y Septentrionales. Al sur de esta zona, la Cordillera de los Andes está caracterizada por la subducción de la placa oceánica Nazca bajo la corteza continental suramericana (Winckell, 1992).

La presencia de estos fenómenos ha generado grandes deformaciones como la Cordillera y también la presencia de fallas a lo largo de toda la región suramericana.

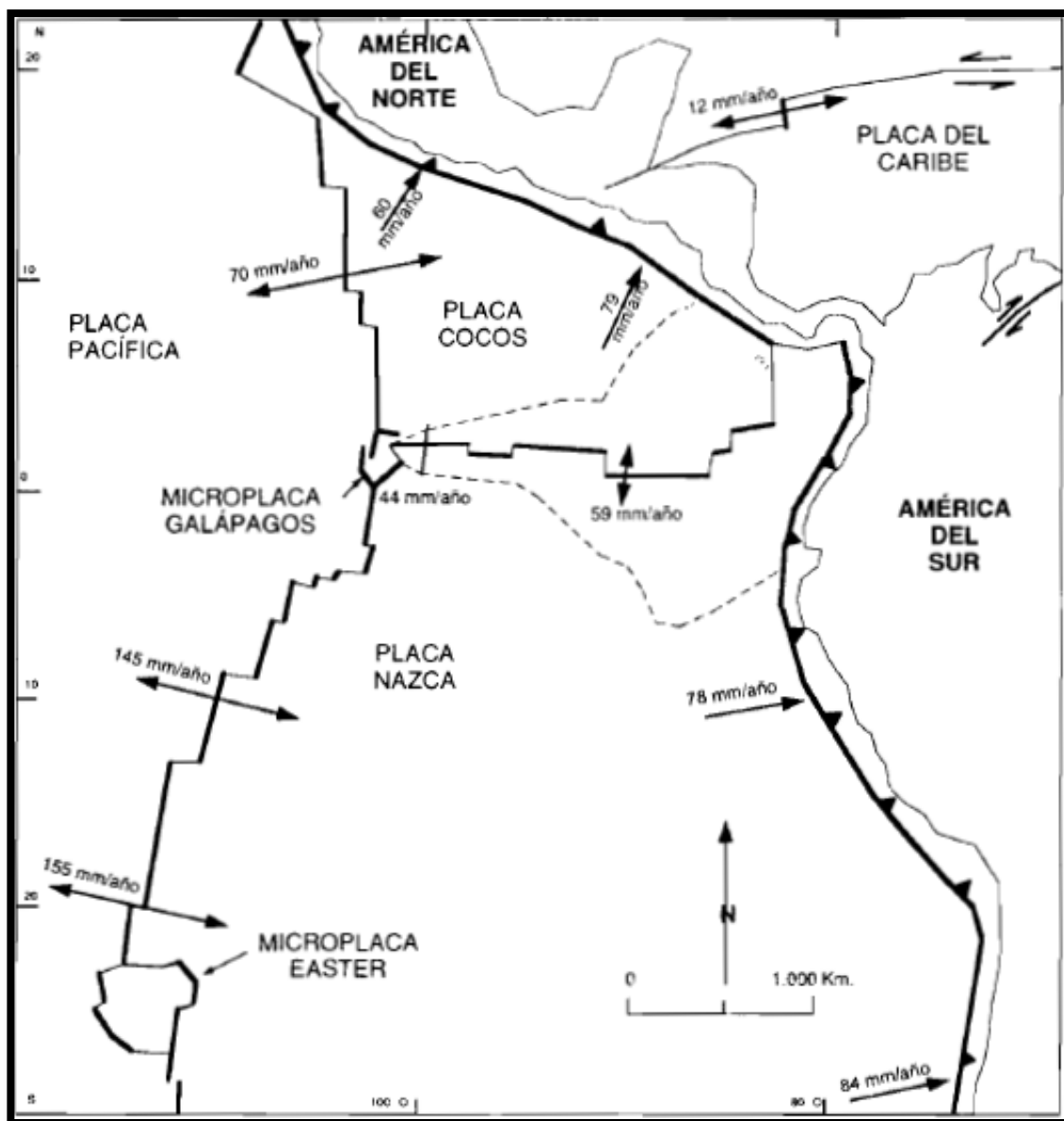


Figura 3. Esquema de las placas mar adentro de América del Sur.

Fuente: Winter, 1990.

Una de las fallas que influyen mayormente en la sismicidad es conocida como la falla Dolores-Guayaquil Megashear, que al norte del Ecuador, sigue el borde oeste de la depresión interandina y que toma al sur de la ciudad de Riobamba, una dirección suroeste hacia el Golfo de Guayaquil y que atraviesa la Cordillera Occidental, lo más probable es que dicho fenómeno se genere

debido a la segmentación del plano de Bénéioff y a la clase de deformación ya sea de compresión o extensión que sufre el área en cuestión (Winckell, 1992).

La falla Celica-Macará también es una de las más importantes ya que afecta casi al 60% del área cantonal, además de que ha sido identificada como activa en los trabajos recientes realizados para la compilación del Mapa Neotectónico del Ecuador dentro del “Programa Internacional de la Litósfera, Grupo de Trabajo II-2, Principales Fallas Activas del Mundo”.

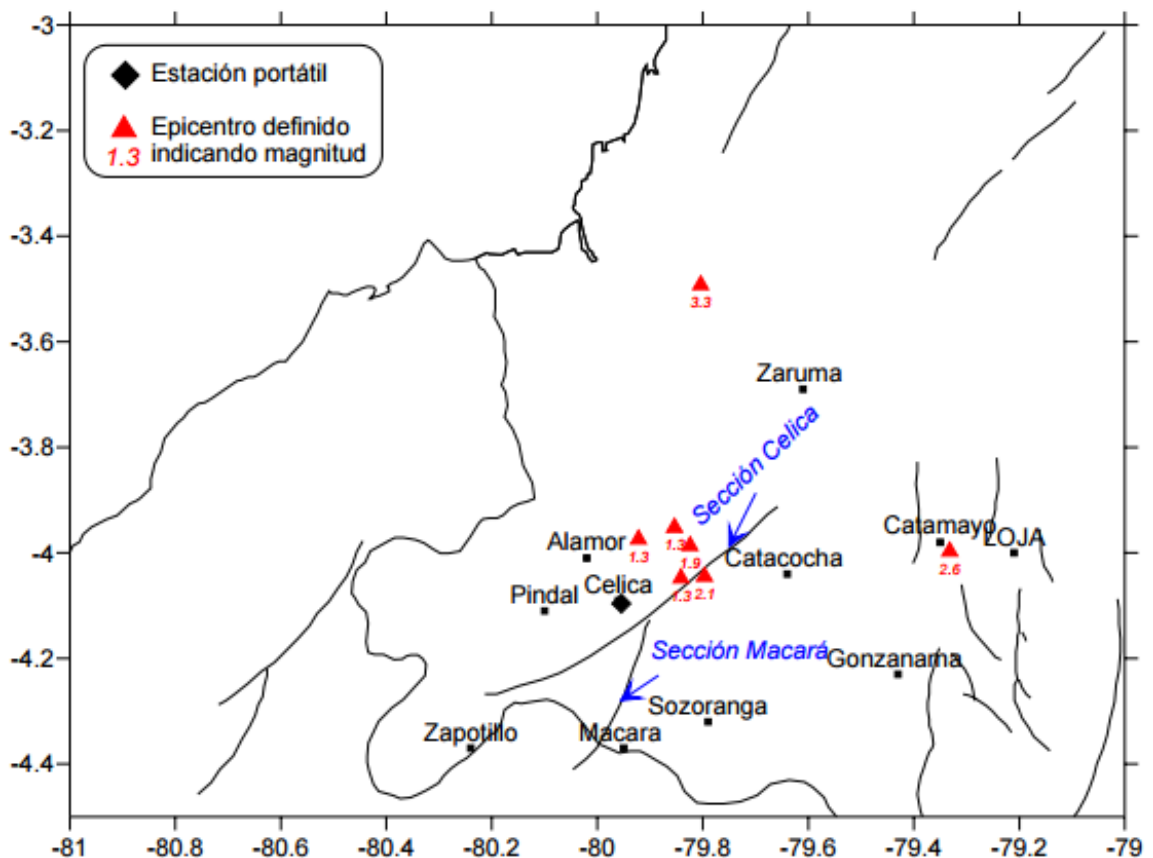


Figura 4. Ubicación de los eventos registrados por la estación portátil ubicada temporalmente en Celica.

Fuente: Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, 2006

2.3 SERIES TEMPORALES

Una serie temporal es un grupo de observaciones con una misma variable medidas secuencialmente un determinado lapso de tiempo. Para que estas observaciones puedan constituir realmente en una serie temporal necesitan estar medidas equidistantemente en el tiempo, es decir que exista una periodicidad constante en cada medición.

La principal características de las series temporales es que las observaciones son dependientes entre sí por lo que para el análisis se debe tomar en cuenta el orden en que fueron tomadas dichas observaciones.

Según Martínez, J., las series temporales se diseñan para el desarrollo de alguno de los siguientes objetivos de información:

- **Descriptiva:** Cuando la serie temporal sirve para el análisis de la información aportada por datos históricos para explicar cómo se ha llegado a la situación actual.
- **Predictiva:** Cuando la serie temporal sirve para anticiparse al comportamiento futuro de la variable o del fenómeno.

2.3.1 CLASIFICACIÓN DE LAS SERIES TEMPORALES

- **Determinísticas:** Son aquellas en las que se puede predecir los valores con exactitud.
- **Estocásticas:** Son aquellas en las que se puede predecir los valores de forma parcial por las observaciones pasadas y los futuros valores tienen una distribución de probabilidad que está condicionada a los valores pasados.

2.3.2 COMPONENTES DE UNA SERIE TEMPORAL

Los componentes o fuentes de variación que sufren los valores observados en una serie son:

- **Tendencia:** Es un cambio que sufre la media a largo plazo. Se puede identificar a la Tendencia por el movimiento o evolución de la serie a largo plazo.
- **Efecto Estacional:** Las series temporales presentan un movimiento cada cierto periodo como consecuencias propias del fenómeno estudiado. Estos tipos de efectos son fáciles de entender y se pueden medir explícitamente o incluso se pueden eliminar del conjunto de los datos, desestacionalizando la serie original.
- **Componente aleatoria:** Después de haber identificado y eliminado los componentes anteriores, quedan unos valores aleatorios para lo cual se estudia qué tipo de comportamiento presentan estos residuos utilizando un modelo probabilístico que los describa.

A partir del estudio de estas componentes se denota la siguiente expresión matemática:

$$X_t = T_t + E_t + I_t$$

Donde:

T_t es la tendencia

E_t es la componente estacional

I_t es el ruido o la parte aleatoria

Es necesario aislar la componente aleatoria y estudiar cual sería el modelo probabilístico más adecuado. Una vez conocido éste, se podrá determinar el comportamiento de la serie a largo plazo (Martínez, 2015).

2.3.3 CLASIFICACIÓN DESCRIPTIVA DE SERIES TEMPORALES

- **Estacionarias:** Una serie es estacionaria cuando es estable, es decir que la media y la variabilidad son constantes a lo largo del tiempo. Esto se refleja gráficamente en que los valores de la serie tienden a oscilar alrededor de una media constante y la variabilidad con respecto a esa media también permanece constante en el tiempo.
- **No Estacionaria:** Una serie es no estacionaria cuando su media cambia en el tiempo lo que generaría que exista una tendencia creciente o decreciente, ya que la serie no oscila alrededor de un valor constante.

2.3.4 ESTIMACIÓN DE LA TENDENCIA

Para que exista una buena representación de los datos es necesario describir la tendencia, ya sea esta ascendente o descendente, a largo plazo de una serie cronológica por medio de alguna línea, ya que la más adecuada nos será de utilidad para desarrollar pronósticos.

Para la tendencia se supone que no existe la componente estacional por lo que la serie se expresa de la siguiente manera:

$$X_t = T_t + I_t$$

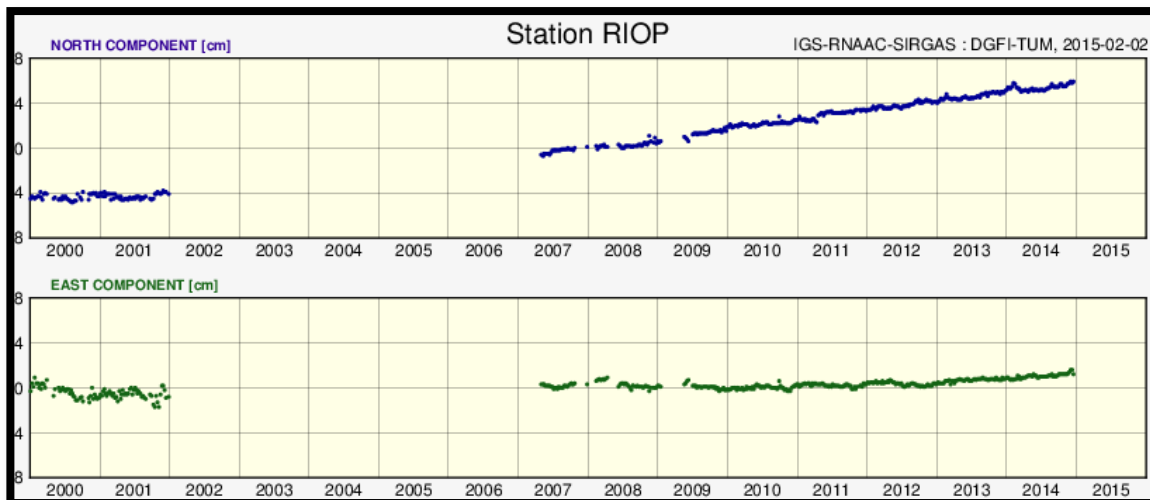


Figura 5. Serie temporal para la estación GNSS RIOP.

Fuente: Página oficial SIRGAS, 2015.

Para lograr la estimación de la tendencia se puede llevar a cabo el método siguiente:

- **Tendencia Determinista:** La función más sencilla sería la recta, es decir:

$$X_t = a + bt$$

Donde a y b son dos constantes a determinar mediante una regresión lineal entre las variables X_t y el tiempo $t = 1, 2, 3, \dots$

En algunos casos no es posible ajustar la tendencia mediante una recta por lo que resultaría mejor ajustar la tendencia a un polinomio o a la curva que mejor se pueda ajustar, para lo cual se tendrá que ajustar una regresión no lineal.

Aunque en un inicio, cada función y modelo poseen ciertas características que las hacen diferentes entre sí, en el estudio de series temporales todas se basan en un solo principio general que es el de ajustar los datos lo mejor posible, de forma que su error medio cuadrático sea mínimo.

TABLA 1. Principales funciones utilizadas en el análisis de series temporales

ORD	FUNCIÓN / MODELO	APLICACIÓN
1	Lineal	$f(x) = ax + b$
2	Polinomial	$f(x) = ax^n + bx^{n-1} + \dots + cx + d$
3	Exponencial	$f(x) = ka^x$
4	Logarítmica	$f(x) = \log_a x$
5	Gaussiana	$f(x) = ae^{-\frac{(x-b)^2}{2c^2}}$
6	Serie de Fourier	$f(x) = a_0 + \sum_{n=1}^{\infty} \left(a_n \cos \frac{n\pi x}{T} + b_n \sin \frac{n\pi x}{T} \right)$

Fuente: Burt, J. et al. 2009

2.4 GEOESTADÍSTICA

La geoestadística es una rama de la estadística encargada del estudio de las variables que se encuentran distribuidas espacialmente mediante modelos probabilísticos.

La dependencia espacial se traduce en la idea de que una variable se correlaciona consigo misma (autocorrelación espacial) o con otra variable (correlación cruzada) en el espacio (Vasques, 2012). Uno de los supuestos de la geoestadística es la autocorrelación positiva en donde las observaciones que se encuentran más cercanas son más similares que las observaciones más separadas.

Según Vasques G., la geoestadística aplica los mismos conceptos que la estadística clásica simplemente que lo hace a las variables georreferenciadas.

Para el estudio de las variables, la geoestadística, parte de una muestra representativa del fenómeno en estudio, en la cual utiliza como elemento fundamental el análisis de la distribución espacial de la información,

proponiendo minimizar la varianza del error de estimación, obteniéndose el mejor estimador lineal no sesgado, Kriging.

A diferencia de otros métodos de interpolación, Kriging, utiliza en la estimación las características de variabilidad y correlación espacial del fenómeno estudiado, por lo que su uso implica un análisis previo de la información.

El análisis geoestadístico se lo realiza para cada variable independientemente, siendo, según Luna M., los pasos principales para un estudio geoestadístico los siguientes:

- Análisis exploratorio de datos.
- Análisis estructural (Cálculo y Modelación de los Variogramas).
- Predicción espacial (Kriging).

2.4.1 ANALISIS EXPLORATORIO DE DATOS

Este primer paso es un proceso estadístico que se lo realiza con el objetivo de identificar datos atípicos, tendencias, variabilidad, etc. Estos datos pueden ser observados de diferentes formas, ya sea por Box Plot, Histogramas y Estadística Descriptiva.

- **Histogramas.-** Sirve para analizar la distribución de frecuencias de una muestra de n mediciones sin considerar su localización espacial.
- **Box plot.-** Sirve para identificar posibles outliers¹, los cuáles, en algunas veces representan la información más interesante de un fenómeno en particular.
- **Estadística representativa.-** Aquí se obtienen datos como la media, mediana, moda, varianza, desviación estándar, etc.

¹ Outliers: Son datos extremos que se encuentran fuera de la distribución, se representan en el Box Plot.

2.4.2 ANÁLISIS ESTRUCTURAL

En este segundo paso se realiza el cálculo y modelación del variograma o semivariograma, que es una herramienta que permite determinar el comportamiento de una variable sobre un área determinada, con el cual se obtiene la influencia de los datos a diferentes distancias.

A esta función denotada por $2\gamma(h)$ se le denomina variograma. Utilizando la definición teórica de la varianza, en términos del valor esperado de una variable aleatoria, se tiene que:

$$2\gamma(h) = V(Z(x + H) - Z(x))$$

La semivarianza no es más que la mitad del variograma, que además caracteriza las propiedades de dependencia espacial del proceso, y que se estima por el método de momentos a través del semivariograma experimental, que se calcula mediante:

$$\gamma(h) = \frac{\sum (Z(x + h) - Z(x))^2}{2n}$$

Donde:

$Z(x)$ es el valor de la variable en un lugar x .

$Z(x+h)$ es otro valor muestral separado del valor anterior por una distancia h .

n es el número de parejas que se encuentran separadas por dicha distancia.

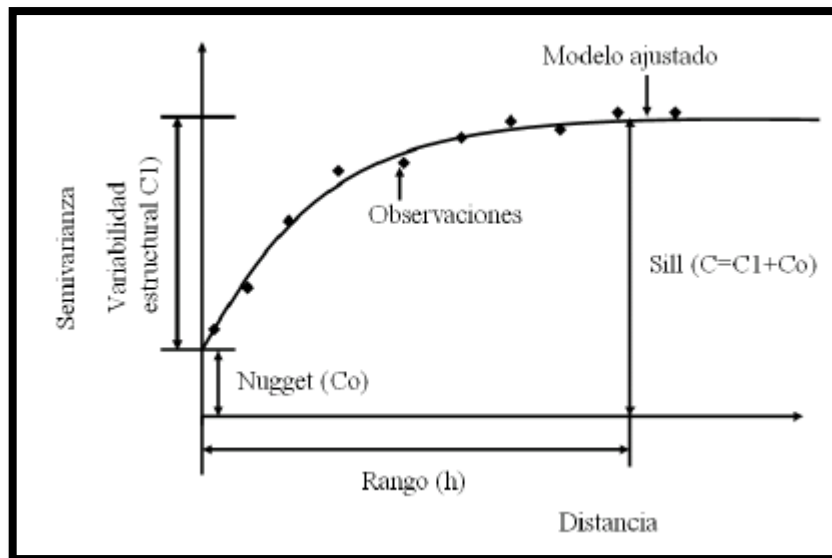


Figura 6. El Semivariograma y sus componentes

Fuente: Jaramillo D. , 2003.

Rango (h).- Es la distancia hasta la cual existe una dependencia espacial en las muestras o en donde se estabiliza la semivarianza.

Sill (C).- Es el valor máximo de la semivarianza, también se le conoce como meseta, en donde el modelo se estabiliza, se encuentra conformado por la Variabilidad Estructural (C1) y la Variabilidad Aleatoria o Nugget (Co).

Nugget (Co).- También es conocido como el efecto pepita. Se lo expresa como porcentaje de la semivarianza total (Sill) para así obtener una idea de la magnitud de la variabilidad aleatoria que presenta la variable en estudio.

Cambardella et al. (1994) establecieron 3 categorías para agrupar la importancia de la variabilidad espacial de las variables:

- Fuerte dependencia espacial: $Co < 25\%$.
- Moderada dependencia espacial: Co entre 25% y 75% .
- Débil dependencia espacial: $Co > 75\%$.

Se puede obtener dos tipos de semivariograma, el *isotrópico* que se da cuando la variabilidad espacial de la variable depende únicamente de la distancia que existe entre muestras y el *anisotrópico* en el cual, a parte de la distancia, depende también de la dirección en que se realiza el muestreo.

La anisotropía muestra que los procesos o factores que controlan la variabilidad de determinada propiedad ejercen dicho control de manera diferencial, de acuerdo con ciertas direcciones (Jaramillo D. , 2011).

Algunos de los modelos básicos de los semivariogramas, que son capaces de explicar los diferentes comportamientos que pueden presentar las variables regionalizadas, son los siguientes:

TABLA 2. Modelos teóricos del semivariograma

FUNCION/MODELO	APLICACIÓN
Esférico	$\gamma(h) = \begin{cases} C_0 + C_1 \left(\frac{3}{2} \left(\frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left(\frac{h}{a} \right)^3 \right); & h \leq a \\ C_0 + C_1; & h \geq a \end{cases}$
Exponencial	$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left(1 - e^{-\frac{3h}{a}} \right)$
Gaussiano	$\gamma(h) = C_0 + C_1 \left(1 - e^{-\frac{h^2}{a^2}} \right)$

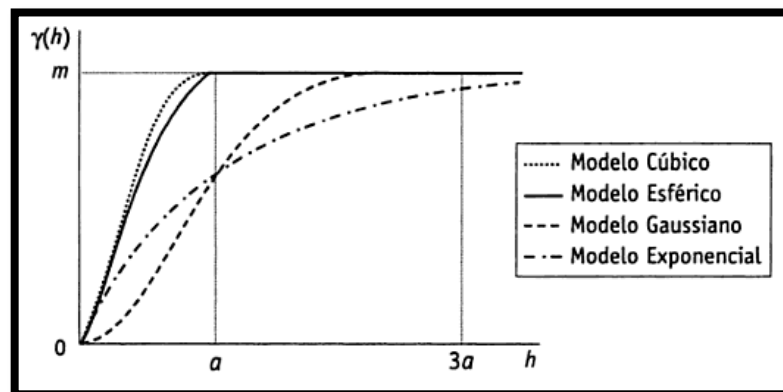


Figura 7. Comparativa de semivariogramas teóricos.

Fuente: Montero & Larraz, 2008.

2.4.3 PREDICCIÓN ESPACIAL

Es el procedimiento de predecir el valor de una variable en un punto no muestral a partir de valores de esa variable en puntos muestrales, situados dentro de la misma área o región (Moreno, 2008).

Kriging es considerado por muchos el mejor método de predicción lineal insesgado y de varianza mínima. Este es el método de interpolación de datos dispersos para procesos espaciales aleatorios (Oliver, 2010).

Kriging es un método de interpolación probabilístico que ha superado muchas de las deficiencias de los modelos matemáticos (determinísticos), ya que toma en cuenta la forma en que varía un fenómeno en el espacio a través del variograma.

2.4.3.1 KRIGING ORDINARIO

Dentro de los diferentes métodos del Kriging que existen, el ordinario es el más robusto y el más utilizado, además que se basa en el supuesto de que no se conoce la media.

El objetivo de este método es estimar el valor de la variable Z en un punto X_0 que no ha sido muestreado, para lo cual se utiliza la información de la misma variable Z en diferentes puntos muestrales $X_i; i=1, 2, 3, \dots$

$$Z(X_0) = \sum \lambda_i Z(X_i)$$

Donde $Z(X_i)$ son los valores de la variable en los puntos muestrales y λ_i son los pesos de cada observación.

Los pesos se obtienen en términos del semivariograma a través del sistema de ecuaciones:

$$\begin{bmatrix} Y_{11} & \cdots & Y_{1n} & 1 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ Y_{n1} & \cdots & Y_{nn} & 1 \\ 1 & \cdots & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \vdots \\ \lambda_n \\ -\mu \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_{10} \\ \vdots \\ Y_{n0} \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$[Y] [\lambda] = [Y_0]$$

Por lo cual los pesos que minimizan el error de predicción se determinan mediante la función de semivariograma a través de:

$$[\lambda] = [Y]^{-1}[Y_0]$$

Encontrando los pesos se calcula la predicción en el punto X_0 . De forma análoga se procede para cada punto en el cual se desea realizar la predicción.

La principal característica que presenta Kriging es que asigna pesos a los vecinos más cercanos que van a ser considerados para la estimación, esta también es una de sus diferencias con otros métodos de interpolación, ya que los pesos son asignados a partir de un análisis espacial, basado en el semivariograma experimental. Los pesos cerca del punto que se estima serán mayores que los pesos que se encuentran más lejanos, lo que demuestra que Kriging es un predictor local. Cuando la proporción entre el nugget y la meseta se incrementa, los pesos que se encuentran cerca del punto decrecen mientras que los pesos que se encuentran lejos aumentan.

2.4.3.2 VALIDACIÓN

Actualmente existen diferentes métodos para validar la bondad de ajuste del modelo de variograma que haya sido seleccionado y por lo tanto la veracidad de las predicciones hechas con Kriging, el método de la validación cruzada es uno de los más utilizados.

La validación cruzada consiste en excluir uno de los n punto muestrales y con $n-1$ puntos muestrales realizar la predicción con Kriging el valor de la

variable del punto que fue excluido. Si la diferencia entre el valor observado y el valor predicho es pequeña, esto indicaría que el modelo de semivarianza que se eligió describe bien la estructura de correlación espacial, lo que daría un resultado positivo en el estudio.

Este proceso de validación es repetitivo y se le debe realizar con cada uno de los n puntos muestrales de tal manera que se obtiene un conjunto de n errores de predicción.

CAPITULO III

PROCESAMIENTO DE DATOS GNSS Y GEOESTADÍSTICOS

3.1 DEPURACIÓN DE DATOS

Para la depuración de datos se usaron herramientas gratuitas de la UNAVCO que ayudan a la transformación de los datos crudos, ediciones y controles de calidad, estas son `runpkr00` y `TEQC`.

Se pueden instalar en los sistemas operativos de Windows, Linux, Solaris y Mac OS. El presente trabajo se lo realizó en el sistema operativo Linux por su facilidad para la programación que facilitó la aplicación de los programas y automatizándoles.

3.1.1 TRANSFORMACIÓN DE DATOS CON EL SOFTWARE RUNPKR00

El software `runpkr00` sirve para traducir formatos de archivos Trimble (R00 / T00 / T01 / T02) en archivos legibles para el `teqc` (.DAT / .TGD).

El comando básico utilizado para dicha transformación fue el siguiente:

```
runpkr00 -d -g NombreDelArchivo.T0X
```

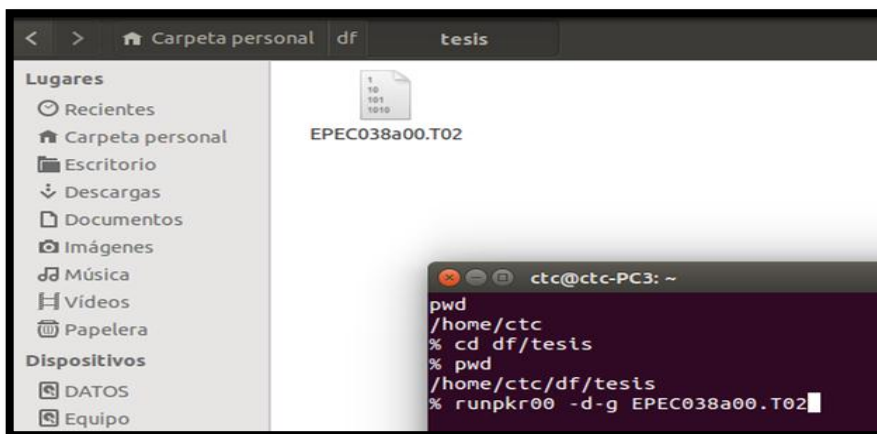


Figura 8. Ejemplo de transformación utilizando `runpkr00`.

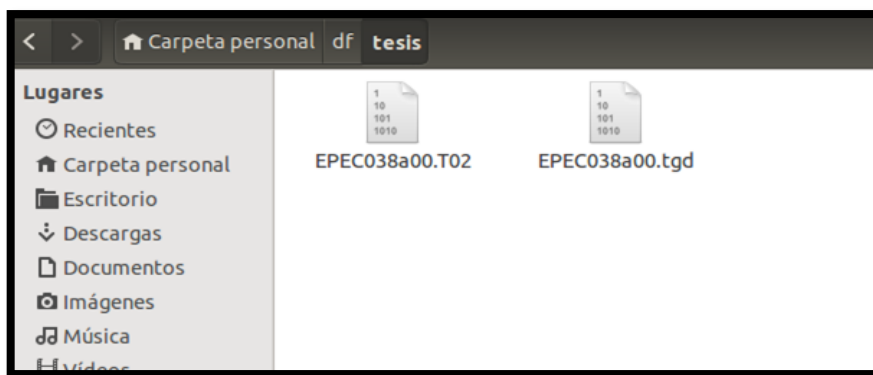


Figura 9. Ejemplo del archivo creado utilizando runpkr00.

Los datos fueron observados con receptores Trimble y Leica, para los archivos RAW de Leica no es necesario realizar este proceso, ya que estos archivos vienen en el formato que *TEQC* puede reconocer.

3.1.2 TEQC

Las funciones que realiza la herramienta *TEQC*² son de transformación, la edición y el control de calidad de los datos recibidos por los receptores. Funciona con casi todos los sistemas de navegación satelital como por ejemplo GPS, GLONASS, Galileo, SBAS, Beidou (Compás), QZSS.

3.1.2.1 TRANSFORMACIÓN DE DATOS

Se toman los archivos que poseen datos binarios o RAW data y se los transforma en archivos RINEX de observación OBS, navegación NAV y meteorológicos MET, dependiendo si existe una estación meteorológica, para este último.

En el presente proyecto se obtuvieron los archivos de observación y navegación ya que el estudio realizado no depende de archivos meteorológicos, además que muchas de las estaciones del Ecuador no poseen el equipo necesario para obtener los archivos MET.

² TEQC: Translation, Editing, and Quality Check

El comando básico utilizado para dicha transformación fue el siguiente:

```
teqc -week SSSS -tr d +nav nameDOY0.YYn,nameDOY0.YYg +met  
nameDOY0.YYm +obs nameDOY0.YYo nameDOY0.tgd
```

donde:

SSSS es la semana GPS

name es el nombre de la estación de 4 dígitos

DOY es el día GPS

YY son los dos últimos dígitos del año Juliano

nameDOY0.tgd el archivo de donde se obtendrán los RINEX

nameDOY0.YYn el archivo que se obtiene de navegación GPS

nameDOY0.YYg el archivo que se obtiene de navegación GLONASS

nameDOY0.YYm el archivo que se obtiene de meteorológico

nameDOY0.YYo el archivo que se obtiene de observación

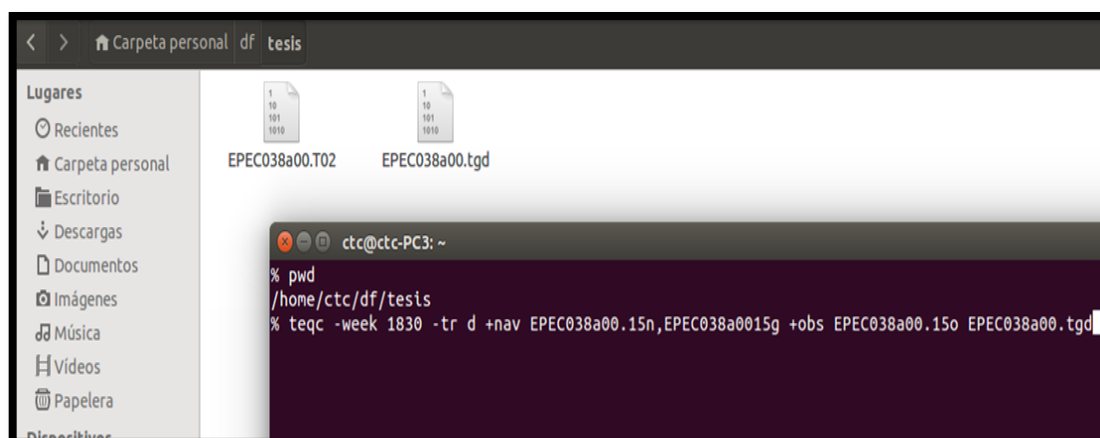


Figura 10. Ejemplo de transformación utilizando teqc.

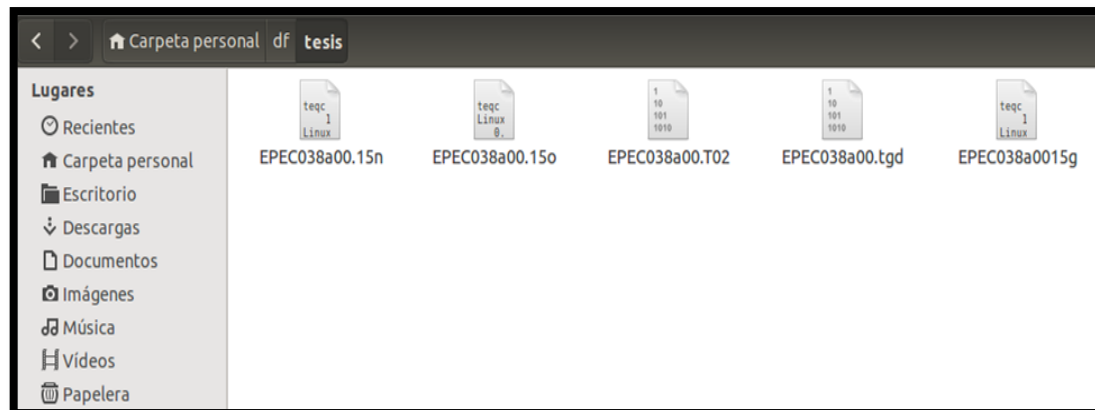


Figura 11. Ejemplo de los archivos creado utilizando TEQC.

3.1.2.2 EDICIÓN DE DATOS

La función de edición permite al usuario cambiar encabezados, corregir cualquier metadato, intervalos de rastreos, selección de observaciones, etc.

Algunos de los cambios principales que se realizaron en los archivos entregados por el IGM fue el de antenas, domos, series, etc., ya que existieron inconsistencias en algunos archivos, además que muchas antenas han sido reemplazadas con el pasar de los años.

El comando básico utilizado para dicha edición fue la siguiente:

```
teqc -O.r "RUN BY" -O.o "OBSERVER" -O.ag "AGENCY" -O.mo "MARKER NAME" -O.mn "MARKER NUMBER" -O.rn "REC #" -O.rt "REC TYPE" -O.an "ANT #" -O.at "ANT TYPE + DOME" -O.dec INTERVAL (s) nameDOY0.YYo > nameDOY0a.YYo
```

donde:

-O.x es la instrucción de edición (nótese que existe una instrucción diferente para cada línea que desee editarse)

nameDOY0.YYo es el nombre original del archivo

nameDOY0a.YYo es el nombre del archive editado

```

2.11 OBSERVATION DATA M (MIXED) RINEX VERSION / TYPE
teqc 2013Mar15 CTC 20150724 19:20:10UTC PGM / RUN BY / DATE
Linux 2.4.21-27.ELsmp|Opteron|gcc|Linux x86_64|=+ COMMENT
0.000 (antenna height) COMMENT
-0.31489040 (latitude) COMMENT
-78.44632243 (longitude) COMMENT
2522.980 (elevation) COMMENT
BIT 2 OF LLI FLAGS DATA COLLECTED UNDER A/S CONDITION COMMENT
EPEC (COGO code) COMMENT
EPEC MARKER NAME
EPEC MARKER NUMBER
-Unknown- -Unknown- OBSERVER / AGENCY
5250K54779 TRIMBLE NETR9 4.85 REC # / TYPE / VERS
38354859 TRM59800.00 SCIS ANT # / TYPE
1277937.6630 -6251282.0009 -34831.5794 APPROX POSITION XYZ
0.0000 0.0000 0.0000 ANTENNA: DELTA H/E/N
1 1 WAVELENGTH FACT L1/2
7 L1 L2 C1 P1 P2 S1 S2 # / TYPES OF OBSERV
16 LEAP SECONDS
SNR is mapped to RINEX snr flag value [0-9] COMMENT
L1 & L2: min(max(int(snr_dBHz/6), 0), 9) COMMENT
2015 2 7 0 0 0.0000000 GPS TIME OF FIRST OBS
END OF HEADER

15 2 7 0 0 0.0000000 0 19G23R24G31R17G27R05G11R18R14R15G16G32
G04G19G14R03G03G01R04
122498139.880 7 95453146.50444 23310617.602 23310626.828
45.100 29.600
118260437.264 7 91980194.110 6 22115248.922 22115246.996 22115262.047
43.200 37.500
128880602.988 6 100426538.22243 24525162.109 24525181.883
39.600 23.000
108867202.500 8 84674655.261 7 20344435.336 20344434.047 20344445.113
51.100 47.400

```

Figura 12. Archivo de observación sin editar.

```

2.11 OBSERVATION DATA M (MIXED) RINEX VERSION / TYPE
teqc 2013Mar15 Marco Luna 20150724 19:41:56UTC PGM / RUN BY / DATE
EPEC MARKER NAME
42029M001 MARKER NUMBER
REGME-CEPGE IGM_EC OBSERVER / AGENCY
5225K50230 TRIMBLE NETR9 4.85 REC # / TYPE / VERS
54539 TRM59800.00 SCIS ANT # / TYPE
1277937.6630 -6251282.0009 -34831.5794 APPROX POSITION XYZ
0.0000 0.0000 0.0000 ANTENNA: DELTA H/E/N
1 1 WAVELENGTH FACT L1/2
7 L1 L2 C1 P1 P2 S1 S2 # / TYPES OF OBSERV
30.0000 INTERVAL
16 LEAP SECONDS
SNR is mapped to RINEX snr flag value [0-9] COMMENT
L1 & L2: min(max(int(snr_dBHz/6), 0), 9) COMMENT
Forced Modulo Decimation to 30 seconds COMMENT
2015 2 7 0 0 0.0000000 GPS TIME OF FIRST OBS
END OF HEADER

15 2 7 0 0 0.0000000 0 19G23R24G31R17G27R05G11R18R14R15G16G32
G04G19G14R03G03G01R04
122498139.880 7 95453146.50444 23310617.602 23310626.828
45.100 29.600
118260437.264 7 91980194.110 6 22115248.922 22115246.996 22115262.047
43.200 37.500
128880602.988 6 100426538.22243 24525162.109 24525181.883
39.600 23.000
108867202.500 8 84674655.261 7 20344435.336 20344434.047 20344445.113
51.100 47.400
107368238.856 8 83663707.40447 20431450.289 20431463.762
51.300 46.700

```

Figura 13. Archivo de observación editado.

Cuando se está realizando la edición se debe siempre mantener las características propias de un archivo RINEX, esto quiere decir que se deben respetar los espacios existentes, el número de caracteres, formatos, etc. Para los casos de los campos “REC TYPE” y “ANT TYPE + DOME” se debe cumplir con los estándares establecidos por la IGS para que los software que se utilizan en el procesamiento puedan reconocerlos.

La información para la edición de los metadatos de los Rinex debe provenir de los archivos LogFiles, en este caso esos archivos fueron descargados de la página oficial de SIRGAS. Cabe mencionar que existieron algunas diferencias entre los archivos LogFiles del Instituto Geográfico Militar con los archivos LogFiles de SIRGAS, que se da por la falta de actualización de dichos archivos.

3.1.2.3 CONTROL DE CALIDAD

El control de calidad determina el estado en el que se encuentran las observaciones GNSS, detectando posibles errores que pudieran tener cada una de estas, a través del cálculo de varios parámetros propios del proceso.

El comando básico utilizado para el control de calidad fue la siguiente:

```
teqc +qc -nav nameDOY0.YYn,nameDOY0.YYg nameDOY0.YYo
```

donde:

+qc Es la instrucción para el control de calidad

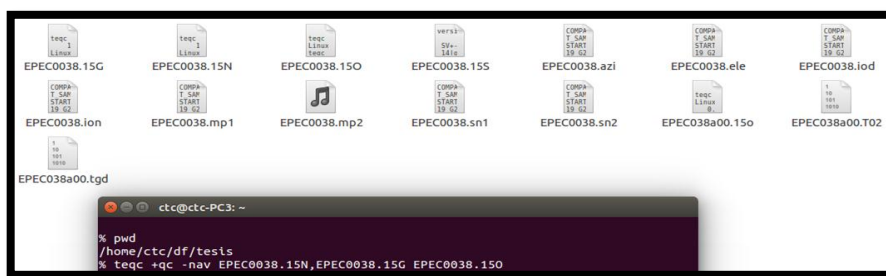


Figura 14. Instrucción y archivos creados en el control de calidad.

Los principales parámetros para determinar la validez de los archivos son: valores multipath para cada una de las portadoras (Moving average MP1 y MP2), número de saltos de ciclo para ángulos de elevación mayores y menores a los 10° (IOD slips & IOD or MP slips) y número de épocas ideales y obtenidas (#expt & #have), las cuales permiten determinar el porcentaje medio de recepción de las observaciones.

```

Moving average MP1      : 0.584084 m
Moving average MP2      : 0.511797 m
Points in MP moving avg : 50
Mean S1 S2              : 44.90 (sd=4.84 n=46026) 36.51 (sd=8.17 n=45754)
No. of Rx clock offsets : 0
Total Rx clock drift    : 0.000000 ms
Rate of Rx clock drift  : 0.000 ms/hr
Avg time between resets : Inf minute(s)
Freq no. and timecode   : 2 12816 fffffff
Report gap > than       : 10.00 minute(s)
epochs w/ msec clk slip : 0
other msec mp events    : 0 (: 1180) {expect ~= 1:50}
IOD signifying a slip   : >400.0 cm/minute
IOD slips < 10.0 deg*  : 119
IOD slips > 10.0 deg   : 501
IOD or MP slips < 10.0* : 143
IOD or MP slips > 10.0 : 537
* or unknown elevation
  first epoch  last epoch  hrs  dt  #expt  #have  %  mp1  mp2  o/slps
SUM 15  2  7 00:00 15  2  7 23:59 24.00 30  46111 45748 99  0.58 0.51  85

```

Figura 15. Archivo resumen del control de calidad.

En el caso de que el número de observaciones obtenidas concuerde con el número de observaciones ideales en un porcentaje menor al 75%, el archivo de observaciones debería ser eliminado del procesamiento para evitar errores en el mismo.

Cabe anotar que para el presente estudio, en el control de calidad solo se tomó en cuenta el QC full ya que se considera los archivos de navegación.

3.2 PROCESAMIENTO CON EL SOFTWARE CIENTÍFICO BERNESE

El software BERNESE GNSS es un software desarrollado para el procesamiento de datos multi-GNSS, de alta precisión, para aplicaciones

científicas, desarrollado en el Instituto Astronómico de la Universidad de Berna (Valverde C, Diseño Geodésico I, 2014).

Dentro del software BERNESE se utiliza el término “campaña” para un conjunto de datos que deberían ser procesados juntos, el término alternativo a este es “proyecto”. Cada campaña tiene su propio directorio y subdirectororio donde todos los datos serán almacenados. Antes de cualquier procesamiento de datos la campaña tiene que ser definida, los directorios de esta tienen que ser creados y los datos tienen que ser copiados dentro de estas carpetas, la información básica de la campaña tiene que ser especificada, para inicializar la especificación de la campaña en el software se debe:

- Crear una nueva campaña: antes de comenzar a crear la campaña se debe especificar la dirección y el nombre de esta mediante “*menu>Campaign>Edit list of campaigns*”. Una vez realizado este paso se debe activar la dirección de la campaña creada en “*Menu>Campaign>Select active campaign*”. Al momento de realizar este paso va salir un mensaje de error el cual es muy comprensible porque no está creada la campaña todavía.
- Se crea mediante “*Menu>Campaign>Create new campaign*”. Por defecto los subdirectorios que se crean se mencionan en la figura 16.

```

${P}/MYCAMP/ATM location of campaign specific atmosphere files (e.g., ION, TRP)
/BPE area for output from BPE runs
/OBS location of Bernese observation files
/ORB location of orbit related files (orbit files, ERP-files, satellite clock files,
DCB, etc.)
/ORX original RINEX files
/OUT output files
/RAW RINEX files ready to import into the processing
/SOL solution files (e.g., normal equations, SINEX)
/STA campaign specific station files (STA, FIX, CRD, etc.), the campaign's
session table (SES) is here, too

```

Figura 16. Especificación de los subdirectorios de la campaña.

Fuente: Dach, Hugentobler, Fridez, & Meindl, 2007.

- Finalmente se debe definir una session table³ como se muestra en la figura 17. Una campaña consiste de una o más session table que en conjunto cubren el intervalo total de observación de los datos.

El identificador de una session table es una cadena de 4 caracteres compuesta como dddf donde ddd representa el día de año (DOY) del comienzo del intervalo de tiempo y f es un carácter alfanumérico la identificación de la sesión dentro del día (Dach R. et al., 2007).

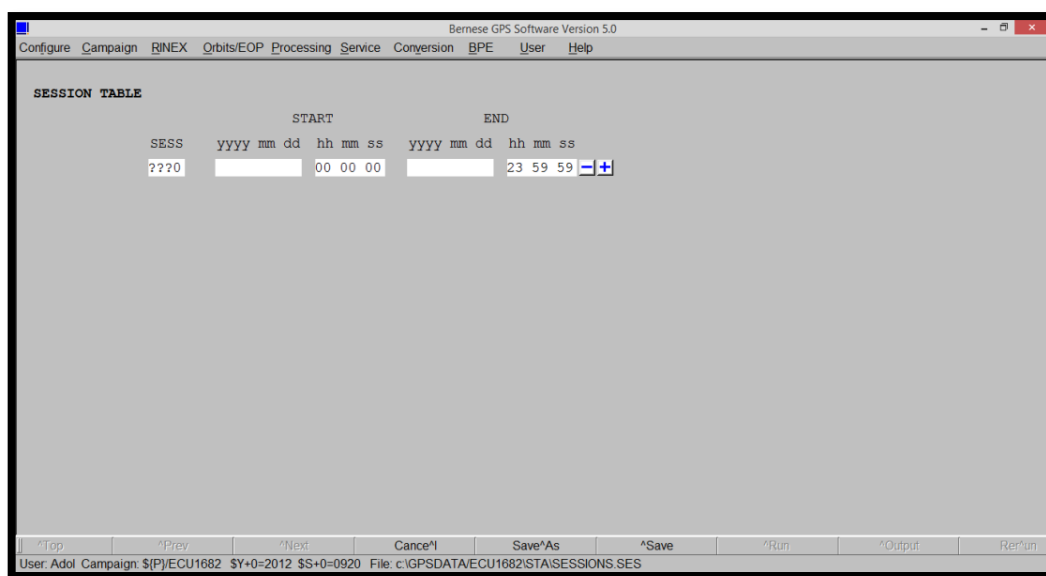


Figura 17. Ejemplo de una session table.

- Posteriormente se copian todos datos necesarios para iniciar el procesamiento con el software BERNESE, para esto se tiene que tomar en cuenta ciertos pasos los cuales están especificados a continuación:

³ Session table: es un intervalo de tiempo que cubre todas las observaciones que deben ser procesadas juntas.

3.2.1 PREPARACIÓN DE LOS ARCHIVOS REQUERIDOS PARA EL PROCESAMIENTO.

La campaña creada tiene varios subdirectorios los cuales tienen varios archivos específicos como muestra la figura 18. Es muy importante que los archivos se encuentren en sus respectivas carpetas ya que se puede producir errores al momento de correr el programa.

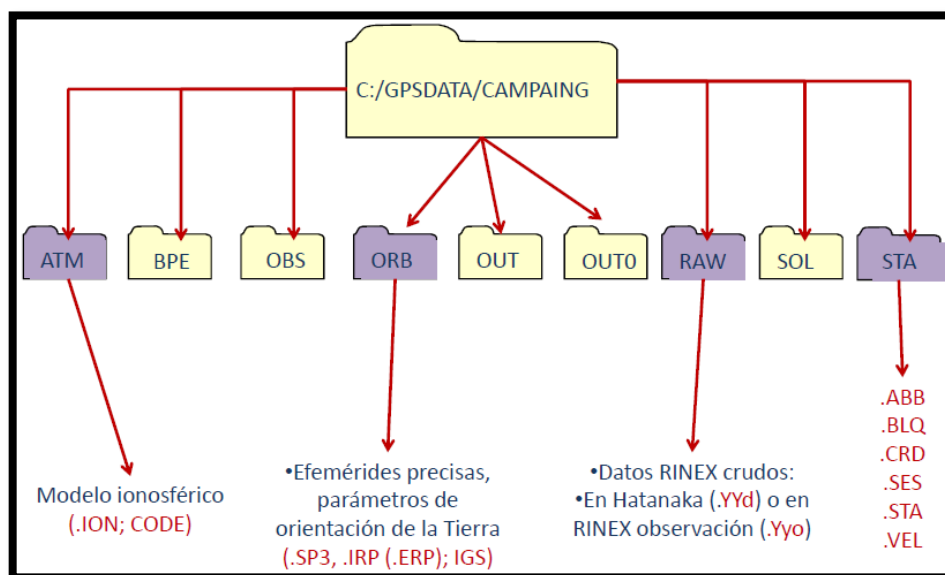


Figura 18. Estructura de una campaña.

Fuente: Valverde C., 2013.

3.2.2 DESCRIPCIÓN DE LOS ARCHIVOS UTILIZADOS EN EL PROCESAMIENTO.

La carpeta ATM contiene los archivos relacionados a modelos ionosféricos, como se muestra en la figura 19.

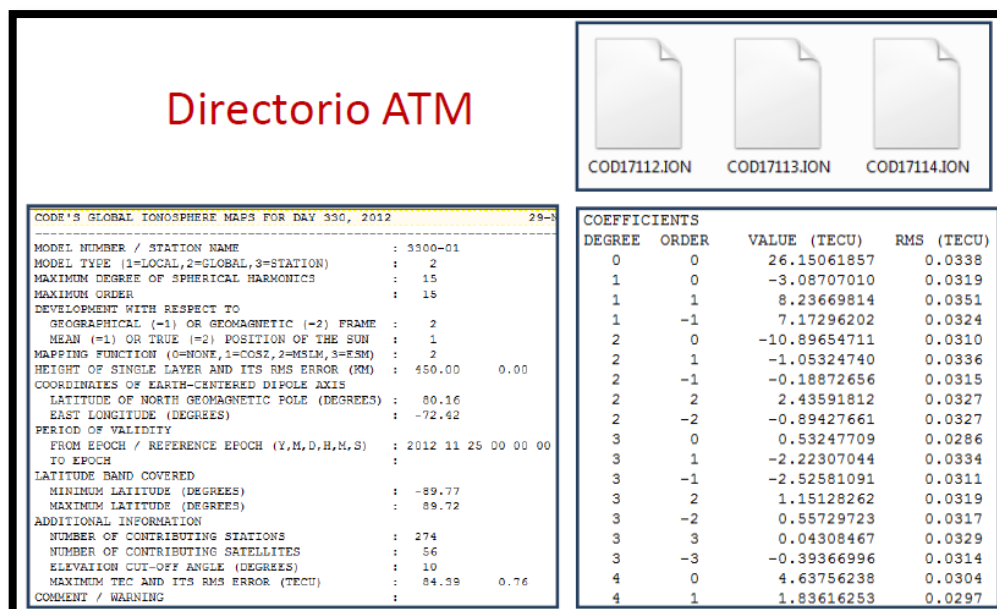


Figura 19. Ejemplo del subdirectorio ATM.

Fuente: Valverde C., 2013.

Los modelos ionosféricos se descargan de la siguiente dirección <ftp://ftp.unibe.ch/>, se puede realizar un batch 4 el cual facilita la descarga de estos modelos, este se indica en la figura 20.

```

open ftp.unibe.ch
user anonymous anonymous
cd /aiub/CODE/2013
binary
mget COD17500.ION.Z
mget COD17501.ION.Z
mget COD17502.ION.Z
mget COD17503.ION.Z
mget COD17504.ION.Z
mget COD17505.ION.Z
mget COD17506.ION.Z
bye

```

Diagrama de anotaciones:

- Una flecha roja apunta de `ftp.unibe.ch` a "Dirección ftp".
- Una flecha roja apunta de `user anonymous anonymous` a "Usuario, contraseña".
- Una flecha roja apunta de `cd /aiub/CODE/2013` a "Directorio".
- Una flecha roja apunta de `mget COD17500.ION.Z` a "Datos a descargar".
- Una flecha roja apunta de `bye` a "Datos a descargar".

Figura 20. Batch para descargar los modelos ionosféricos.

Fuente: Valverde C., 2013.

⁴ Batch: un archivo de texto con extensión *.bat que contiene una secuencia de órdenes para ser ejecutadas en sistemas DOS, OS/2 y Microsoft Windows.

Para la identificación correcta mediante el nombre de estos modelos se puede apreciar en la figura 21, la cual detalla la información contenida en dicho modelo.

- Modelos ionosféricos de CODE:
- CODSSSSD.ION.Z
- COD: solución de CODE
- SSSS: semana GPS
- D: día de la semana
- ION: formato del archivo
- Z: formato de extracción

Nombre de archivo	Tamaño d...
CODI7214.ERP.Z	723
CODI7214.ION.Z	39.550
CODI7214.SNX.Z	3.624.331
CODI7214.TRO.Z	59.611
CODI7215.CLK.Z	1.769.795
CODI7215.CLK_055.Z	6.748.987
CODI7215.EPH.Z	132.773
CODI7215.ERP.Z	719
CODI7215.ION.Z	39.558
CODI7215.SNX.Z	3.624.409
CODI7215.TRO.Z	58.821
CODI7216.CLK.Z	1.773.715
CODI7216.CLK_055.Z	6.776.175
CODI7216.EPH.Z	132.711
CODI7216.ERP.Z	719
CODI7216.ION.Z	39.487

Figura 21. Descripción del nombre de los modelos ionosféricos.

Fuente: Valverde C., 2013.

La carpeta ORB contiene los archivos de las efemérides precisas, además los parámetros de orientación de la tierra, este directorio se especifica a continuación en la figura 22.



Figura 22. Ejemplo del subdirectorio ORB

De igual manera para este directorio las efemérides precisas se descargan de la siguiente dirección ftp://igsb.jpl.nasa.gov, para agilizar el proceso de descarga de los datos se recomienda generar un batch como se indica en la figura 23.

```
open igsb.jpl.nasa.gov
user anonymous anonymous@
cd /pub/product/1750
binary
mget igs17500.sp3.Z
mget igs17501.sp3.Z
mget igs17502.sp3.Z
mget igs17503.sp3.Z
mget igs17504.sp3.Z
mget igs17505.sp3.Z
mget igs17506.sp3.Z
mget igs17507.erp.Z
bye
```

Figura 23. Batch para descargar las efemérides precisas y los EOP⁵.

Fuente: Valverde C., 2013.

Para la identificación correcta mediante el nombre de estos modelos se puede apreciar en la figura 24, la cual detalla la información del nombre de las efemérides y de los EOP.

⁵ EOP: Parámetros de orientación de la tierra.

- Efemérides precisas:
- TTTSSSSD.sp3.Z
- TTT: tipo de solución (IGU, IGR, IGS)
- SSSS: semana GPS
- D: día de la semana
- sp3: formato del archivo
- Z: formato de extracción

GNSS Calendar

Click on a date in one of the calendars to display data

Tuesday, April 30, 2013 (UTC)

Julian Day Number: **2456412.5** Day of Year: **120**
GPS Week: **1738** GPS Week Number: **17382**
GPS Final Orbits (IGS): [igs17382.sp3.Z](#)
GLONASS Final Orbits (CDDIS): [igl17382.sp3.Z](#)

igs17436.sp3.Z	21-Jun-2013	05:15	94K
igs17437.erp.Z	21-Jun-2013	05:15	495
igs17437.sum.Z	21-Jun-2013	05:15	29K

igr17430.cik.Z	03-Jun-2013	10:15	894K
igr17430.cis.Z	03-Jun-2013	10:15	9.5K
igr17430.erp.Z	03-Jun-2013	10:15	388
igr17430.sp3.Z	03-Jun-2013	10:15	94K
igr17430.sum.Z	03-Jun-2013	10:15	5.9K
igr17431.cik.Z	04-Jun-2013	10:15	871K
igr17431.cis.Z	04-Jun-2013	10:15	9.3K
igr17431.erp.Z	04-Jun-2013	10:15	393

igs17430.cik.Z	21-Jun-2013	05:15	1.3M
igs17430.cik_30s.Z	21-Jun-2013	05:15	2.7M
igs17430.cis.Z	21-Jun-2013	05:15	12K
igs17430.sp3.Z	21-Jun-2013	05:15	94K
igs17431.cik.Z	21-Jun-2013	05:15	1.3M
igs17431.cik_30s.Z	21-Jun-2013	05:15	2.7M
igs17431.cis.Z	21-Jun-2013	05:15	13K
igs17431.sp3.Z	21-Jun-2013	05:15	93K

Figura 24. Descripción del nombre de las efemérides precisas y los EOP.

Fuente: Valverde C., 2013.

La carpeta RAW contiene los datos crudos, es decir los archivos de observación de todas las estaciones (las que se utilizan de referencia y las que van a ser procesadas).

La página de donde se descarga los datos de las estaciones IGS es: <ftp://cddis.gsfc.nasa.gov>, la cual entrega datos de todas las estaciones ya sean de observación, navegación, glonass y además en diferentes tipos de compresión



Figura 25. Ejemplo del subdirectorío RAW

Finalmente en la carpeta STA se encuentran los archivos bases con los cuales el software BERNESE toma referencia para el procesamiento, en esta carpeta se encuentra la información de las estaciones (.STA), sus abreviaturas (.ABB), el modelo de carga oceánica de las estaciones (.BLQ), las coordenadas de las estaciones (.CRD), las velocidades de cada estación referenciales de las cuales se va a partir (.VEL), las estaciones fiduciales⁶ con las que se va a trabajar (.FIX) y la session table (.SES).



Figura 26. Ejemplo del subdirectorío STA

⁶ Estaciones Fiduciales: son las estaciones fijas o bases que se van a utilizar para el procesamiento.

3.2.3 SECUENCIA DE PROCESAMIENTO, INSUMO PARA BPE (Bernese Processing Engine).

En los últimos años cada vez más redes permanentes (estaciones de monitoreo continuo) se han establecido alrededor del mundo, por lo tanto la cantidad de datos recogidos por dichas estaciones día a día exige un procesamiento de datos GPS altamente automatizado. Para este tipo de tareas el comando Bernese Processing Engine (BPE) ha sido desarrollado para permitir una automatización del procesamiento de datos GPS. Esta herramienta ha sido diseñada principalmente para la automatización de procesamiento de redes GPS permanentes. El BPE ha sido calificado muchas veces como una herramienta extremadamente útil y se ha convertido en una parte muy importante del software Bernese.

La figura 27 muestra un diagrama de flujo que describe el funcionamiento del servidor de BPE.

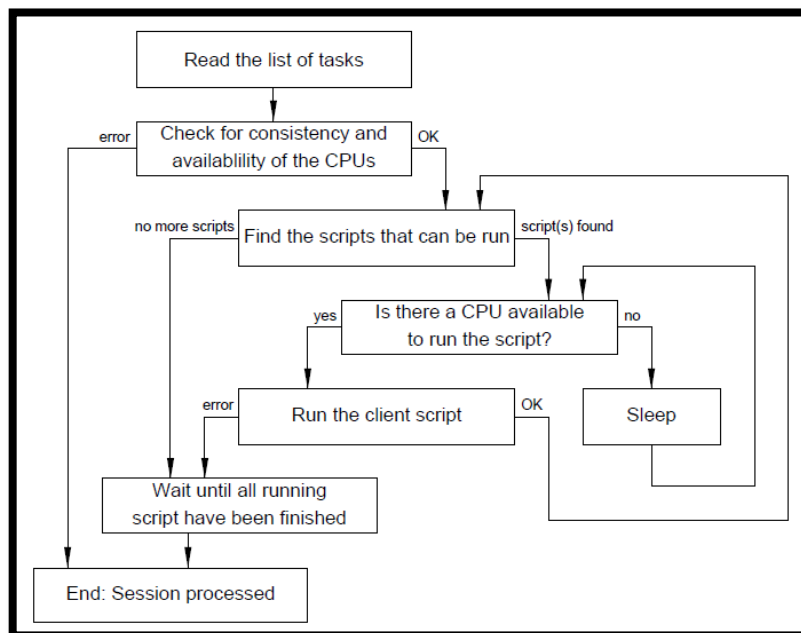


Figura 27. Diagrama de flujo del funcionamiento del BPE

Fuente: Dach, Hugentobler, Fridez, & Meindl, 2007.

Una vez iniciado el servidor de BPE, lee las opciones de entrada. Las opciones de entrada contienen el nombre del Process Control File (PCF) y el CPU control file. El primer archivo define la secuencia de las tareas que se ejecutarán y el segundo define qué hosts⁷ pueden ser utilizados.

3.2.3.1 PROCESS CONTROL FILE (PCF)

Define los scripts⁸ que se deben ejecutar y en qué orden deben ser ejecutados. Los archivos de Process Control File son archivos ASCII.

3.2.3.2 CPU CONTROL FILE

Define qué CPU están disponibles y cómo iniciaron los clientes iniciaron los diferentes hosts.

El BPE se puede iniciar directamente desde el programa del menú del Software Bernese se ejecuta en "Menu>BPE>Start BPE process". Como se muestra en la figura 28.

⁷ **Hosts:** El archivo hosts es un archivo de texto plano que puede ser editado por el administrador del equipo. Este archivo es tradicionalmente llamado "*hosts*" y su ubicación depende del sistema operativo

⁸ **Script:** archivo de órdenes, archivo de procesamiento por lotes o guión es un programa usualmente simple, que por lo regular se almacena en un archivo de texto plano

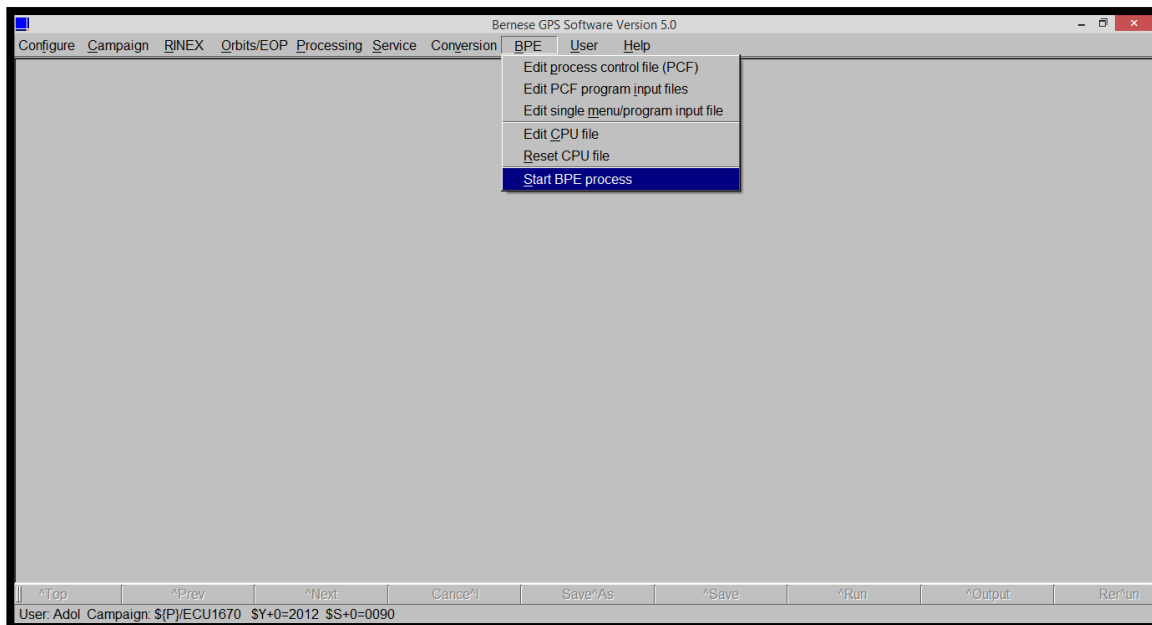


Figura 28. Inicio del BPE process

Una vez iniciado el BPE la secuencia que sigue el procesamiento se describe en la siguiente figura 29. Tomando en cuenta si se desea usar una solución de doble deferencia o la de zero diferencia.

Processing step	Involved programs	Reference
1 Data transfer, copy data into the campaign	ftp	Chapter 4
2 PPP procedure to complete the list of a priori coordinates/velocities (if necessary)	BPE example PPP.PCF	Sec. 20.4.1
3 Import data into Bernese format	RXOBV3	Chapter 4
4 Prepare Earth orientation and orbit information	POLUPD, PRETAB, ORBGEN	Chapter 5
5 Data preprocessing	CODSPP, SNGDIF, MAUPRP, GPSEST, RESRMS, SATMRK	Chapter 6
6 Make a first solution	GPSEST	Chapter 7
7 Resolve ambiguities	GPSEST	Chapter 8
8 Create normal equations	GPSEST	
9 NEQ-based multisession solution	ADDNEQ2	Chapter 9

Processing step	Involved programs	Reference
1 Data transfer, copy data into the campaign	ftp	Chapter 4
2 PPP procedure to complete the list of a priori coordinates/velocities (if necessary)	BPE example PPP.PCF	Sec. 20.4.1
3 Data preprocessing 1	RNXSMT	Chapter 6
4 Import data into Bernese format	RXOBV3	Chapter 4
5 Prepare orbit and Earth orientation information	POLUPD, PRETAB, ORBGEN	Chapter 5
6 Data preprocessing 2	CODSPP, GPSEST, RESRMS, SATMRK	Chapter 6
7 Solution for epoch parameters and/or create normal equations	GPSEST	Chapter 7
8 NEQ-based multisession solution	ADDNEQ2	Chapter 9

Figura 29. Secuencia de procesamiento

Fuente: Dach, Hugentobler, Fridez, & Meindl, 2007.

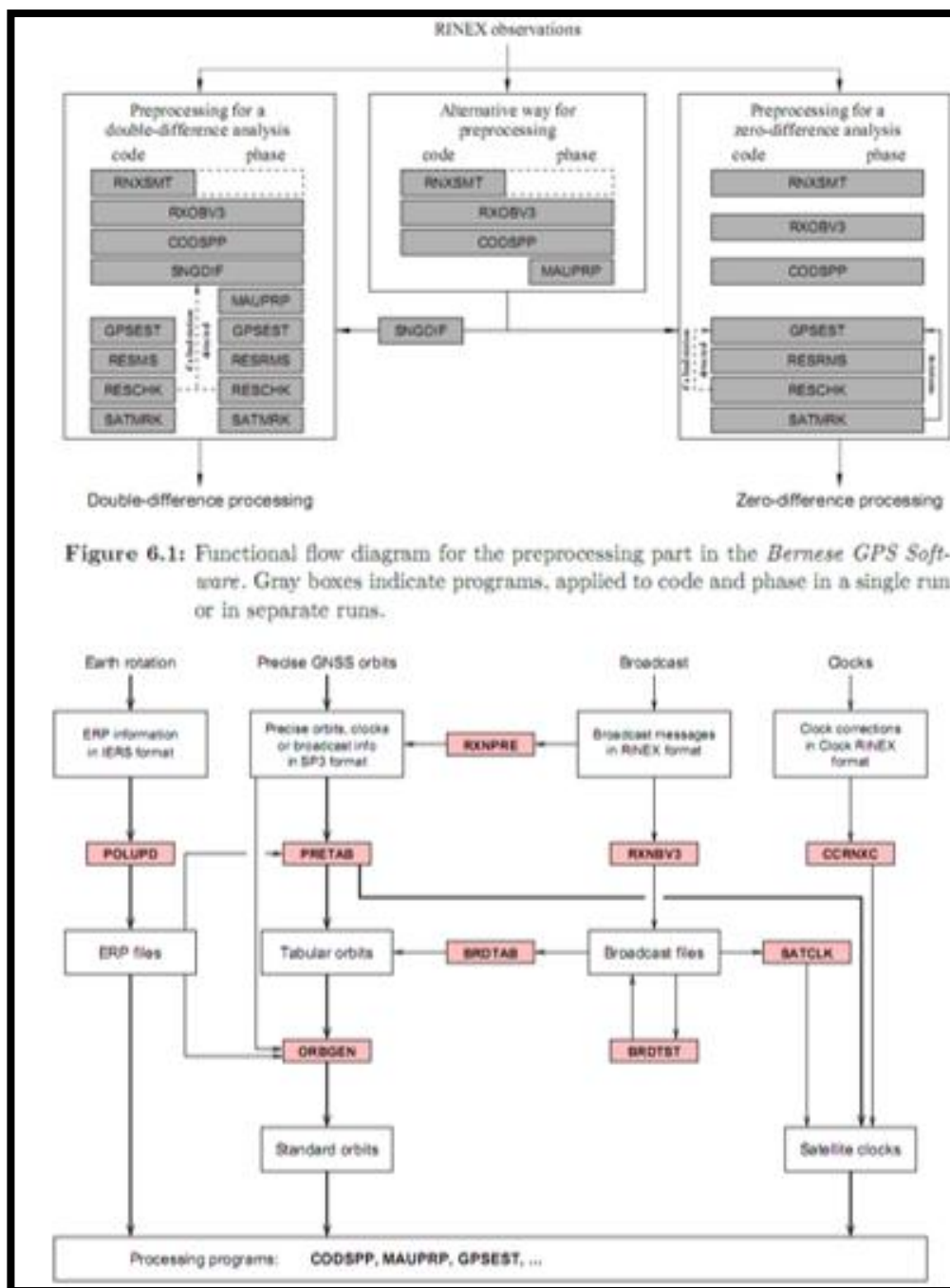


Figura 30. Preparación de EOP, orbitas y relojes

Fuente: Dach, Hugentobler, Fridez, & Meindl, 2007.

El software Bernese en su afán por llegar a la automatización permite generar scripts que constituyen bloques de construcción modulares, lo que permite mezclar esquemas de procesamiento completo (PCF) adaptados a las

necesidades específicas del usuario. En esencia, un script ejecuta una o más veces los programas de Bernese (ej., el script COOVEL corre el programa que se refiere a la actualización de las coordenadas de referencia a la época de medición). El Programa da opciones de entrada que toma del directorio especificado en el PCF. El BPE, además, permite controlar el flujo de procesamiento de los scripts de usuario (secuencia, bucles, interdependencias, paralelización, etc.). Un ejemplo de un PCF que se utiliza en el proceso es el PPP.PCF.

3.2.3.3 EJEMPLOS PCF

3.2.3.3.1 ZERO-DIFFERENCE POSICIONAMIENTO PUNTUAL PRECISO (PPP.PCF)

El propósito principal de este PCF es realizar un posicionamiento puntual preciso (PPP) utilizando observaciones RINEX GNSS de una serie de receptores terrestres fijas para obtener un conjunto de coordenadas de estación a un nivel cm. Esto se usará como una información a priori para el análisis de doble diferencia realizado por RNX2SNX.PCF, algunas tareas adicionales realizadas por el PPP.PCF son:

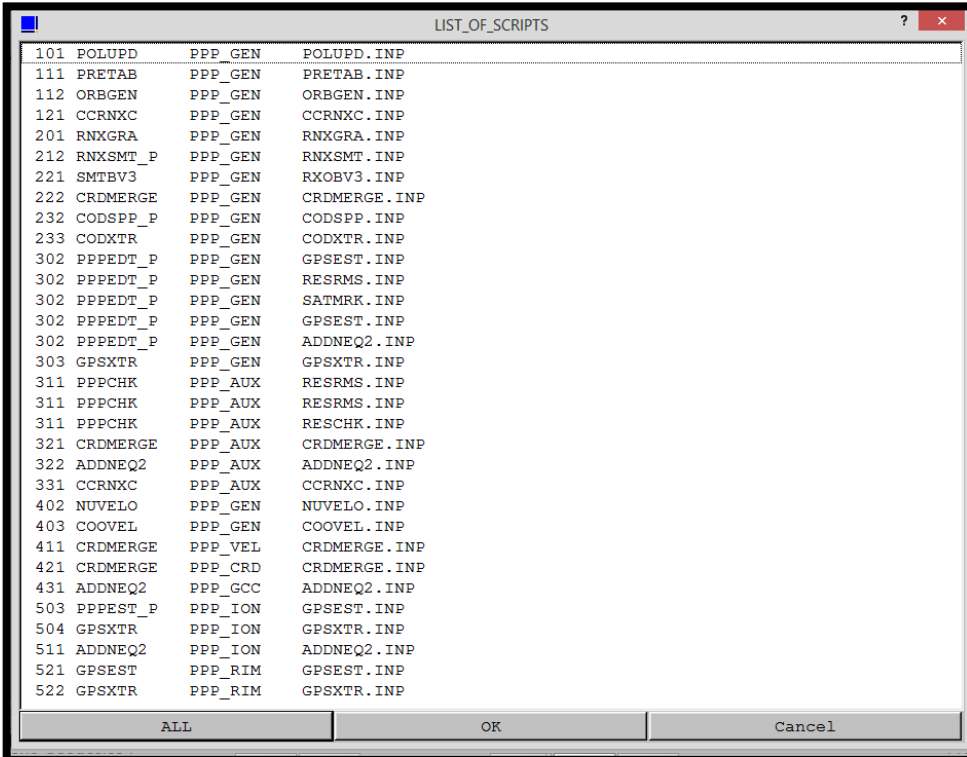
- Determinación de las compensaciones de reloj receptor de fase consistente en intervalos de 5 minutos para la transferencia de tiempo,
- Extracción de TEC (contenido total de electrones) información (estación-específica y regional modelos de la ionosfera),
- Estimación de receptor de polarización código diferencial (DCB) valores de P1-P2,
- Cálculo de un vector de traslación común relacionado con las coordenadas de la estación base en PPP.

Este PCF es adecuado como una etapa preparatoria del procesamiento BPE, debido a las siguientes características:

- Detección de entradas de estaciones que faltan en el archivo de corrección de carga del océano (extensión BLQ),

- Actualización de la tabla nombre de la estación de abreviatura (extensión ABB),
- Conversión de las coordenadas de la estación a una época predefinida,
- generación de coordenadas y archivos de velocidad añadiendo nuevas estaciones al existente (referencia).

Descripción de los script que utiliza el PPP:



ID	Script Name	Parameter	Output File
101	POLUPD	PPP_GEN	POLUPD.INP
111	PRETAB	PPP_GEN	PRETAB.INP
112	ORBGEN	PPP_GEN	ORBGEN.INP
121	CCRNXC	PPP_GEN	CCRNXC.INP
201	RNXGRA	PPP_GEN	RNXGRA.INP
212	RNXSMT_P	PPP_GEN	RNXSMT.INP
221	SMTBV3	PPP_GEN	RXOBV3.INP
222	CRDMERGE	PPP_GEN	CRDMERGE.INP
232	CODSPP_P	PPP_GEN	CODSPP.INP
233	CODXTR	PPP_GEN	CODXTR.INP
302	PPPEDT_P	PPP_GEN	GPSEST.INP
302	PPPEDT_P	PPP_GEN	RESRMS.INP
302	PPPEDT_P	PPP_GEN	SATMRK.INP
302	PPPEDT_P	PPP_GEN	GPSEST.INP
302	PPPEDT_P	PPP_GEN	ADDNEQ2.INP
303	GPSXTR	PPP_GEN	GPSXTR.INP
311	PPPCHK	PPP_AUX	RESRMS.INP
311	PPPCHK	PPP_AUX	RESRMS.INP
311	PPPCHK	PPP_AUX	RESCHK.INP
321	CRDMERGE	PPP_AUX	CRDMERGE.INP
322	ADDNEQ2	PPP_AUX	ADDNEQ2.INP
331	CCRNXC	PPP_AUX	CCRNXC.INP
402	NUVELO	PPP_GEN	NUVELO.INP
403	COOVEL	PPP_GEN	COOVEL.INP
411	CRDMERGE	PPP_VEL	CRDMERGE.INP
421	CRDMERGE	PPP_CRD	CRDMERGE.INP
431	ADDNEQ2	PPP_GCC	ADDNEQ2.INP
503	PPPEST_P	PPP_ION	GPSEST.INP
504	GPSXTR	PPP_ION	GPSXTR.INP
511	ADDNEQ2	PPP_ION	ADDNEQ2.INP
521	GPSEST	PPP_RIM	GPSEST.INP
522	GPSXTR	PPP_RIM	GPSXTR.INP

Figura 31. Descripción del procesamiento realizado en el PPP

- **COOVEL:** actualización de las coordenadas de referencia a la época de medición
- **RXOBV3:** conversión de formato RINEX a formato Bernese. Resultado: Mediciones de código (CZH, .CZO) y de fase (PZH, .PZO) en formato Bernese.

- **POLUPD:** conversión del archivo con los parámetros de orientación terrestre (EOP) del formato IGS al formato Bernese.
- **PRETAB:** transformación de las efemérides del IGS al sistema quasi-inercial ICRF
- **ORBGEN:** integración de las órbitas en el sistema quasi-inercial (polinomio)
- **CODSPP:** Sincronización de los relojes de los receptores. Se obtiene observaciones de código y fase corregidas por los offset de los relojes de los receptores
- **MAUPRP:** detección de mediciones defectuosas y saltos de ciclo
- **GPSEST:** Ajuste por mínimos cuadrados de las observaciones correspondientes a cada línea de base para generar residuales y confirmar la detección de las mediciones defectuosas y saltos de ciclo detectados por el MAUPRP. En este ajuste las ambigüedades se manejan como números reales (float solution)
- **RESRMS:** Evaluación estadística de los residuales generados por GPSEST
- **SATMRK:** Marcación/eliminación de las observaciones defectuosas en los archivos que contienen las mediciones.
- **GPSEST:** Estimación, mediante ajuste por mínimos cuadrados, de las ambigüedades detectadas en cada línea de base
- **GPSEST:** Ajuste por mínimos cuadrados de la red diaria y estimación de parámetros troposféricos. Las coordenadas de todas las estaciones tienen una restricción de 1,0 m. Con ello la solución es semilibre.
- **ADDNEQ2:** Combinación de las soluciones diarias en una semanal. Las coordenadas de todas las estaciones tienen una restricción de 1,0 m. Con ello la solución es semilibre

3.2.3.3.2 DOUBLE-DIFFERENCE PROCESSING RINEX2SINEX (RNX2SNX.PCF)

El RNX2SNX.PCF está destinado al análisis basado en la doble diferencia de los datos de observación RINEX GNSS de una red regional. Las coordenadas de las estaciones y los parámetros troposféricos son estimados y almacenados en Bernese el cual reconoce como formato SINEX para facilitar su posterior procesamiento y combinación.

Algunas de las características importantes de este BPE son:

- Los archivos de observación con importantes gaps⁹ o grandes residuos serán automáticamente removidos del procesamiento para asegurar un procesamiento sólido.
- La solución final de red es una solución con restricciones mínimas, realizado por tres condiciones no-net-translation impuestas por las coordenadas de referencia del ITRF2000 (específicamente IGS00). Las coordenadas de todas las estaciones fiduciales involucradas son posteriormente verificadas por medio de una transformación de Helmert de 3 parámetros. En caso de discrepancias, la solución de red se vuelve a calcular basado en un conjunto reducido de las estaciones fiduciales.
- Como resultado son los datos SINEX, solución de red de forma gratuita y para la extracción directa de coordenadas de la estación.

Además de algunos archivos estándar (órbita y de información polo, etc.), cuatro archivos se requieren específicamente para ejecutar este PCF:

- Archivo de abreviatura del nombre de la estación (EXAMPLE.ABB),
- Archivo de coordenadas (IGS 00.CRD)

⁹ Gap: hace referencia a una Brecha, una Apertura o un espacio vacío comprendido entre dos puntos de referencia, es un espacio vacío entre datos.

- Archivo de la velocidad (IGS 00.VEL), y
- Los sitios de referencia en el archivo de coordenadas (IGS 00.FIX).

Es necesario la previa ejecución del PPP.PCF para crear tres de estos archivos. El objetivo principal de esta etapa preparatoria del procesamiento BPE es el cálculo aproximado de las coordenadas de la estación de todos los nuevos puntos de la red GNSS a analizar. Esa etapa de procesamiento incluye la creación de un archivo de coordenadas completa. El cuarto archivo de una lista de los sitios de referencia se debe generar manualmente.

Descripción de los script que utiliza el RINEX2SINEX:



ID	Name	Type	Output File
002	COOVEL	R2S_GEN	COOVEL.INP
101	POLUPD	R2S_GEN	POLUPD.INP
111	PRETAB	R2S_GEN	PRETAB.INP
112	ORBGEN	R2S_GEN	ORBGEN.INP
201	RNXGRA	R2S_GEN	RNXGRA.INP
212	RXOBV3_P	R2S_GEN	RXOBV3.INP
222	CODSPP_P	R2S_GEN	CODSPP.INP
223	CODXTR	R2S_GEN	CODXTR.INP
301	SNGDIF	R2S_GEN	SNGDIF.INP
312	MAUPRP_P	R2S_GEN	MAUPRP.INP
313	MPRXTR	R2S_GEN	MPRXTR.INP
322	GPSED_T_P	R2S_EDT	GPSEST.INP
322	GPSED_T_P	R2S_EDT	RESRMS.INP
322	GPSED_T_P	R2S_EDT	SATMRK.INP
322	GPSED_T_P	R2S_EDT	GPSEST.INP
331	GPSCHK	R2S_GEN	RESRMS.INP
331	GPSCHK	R2S_GEN	RESRMS.INP
331	GPSCHK	R2S_GEN	RESCHK.INP
401	ADDNEQ2	R2S_GEN	ADDNEQ2.INP
402	GPSXTR	R2S_GEN	GPSXTR.INP
411	GPSQIFAP	R2S_QIF	BASLST.INP
412	GPSQIF_P	R2S_QIF	GPSEST.INP
413	GPSXTR	R2S_QIF	GPSXTR.INP
501	GPSEST	R2S_FIN	GPSEST.INP
511	ADDNEQ2	R2S_FIN	ADDNEQ2.INP
512	GPSXTR	R2S_FIN	GPSXTR.INP
513	COMPAR	R2S_FIN	COMPAR.INP
514	HELMR1	R2S_FIN	HELMR1.INP
521	ADDNEQ2	R2S_RED	ADDNEQ2.INP
522	GPSXTR	R2S_RED	GPSXTR.INP

Figura 32. Descripción del procesamiento realizado en el RINEX2SINEX

Entre los más importantes:

- **COOVEL:** Coordenadas de las estaciones de referencia IGS se dan para la época enero 1, 2000, 00:00:00 (cf. IGS 00.CRD que se encuentra en el directorio STA).
- **POLUPD:** Archivo de formato polo proporcionado por el IGS (IEP), se convierte a formato BERNESE (ERP). Este archivo de polo de nueva creación se utiliza en todas las etapas de procesamiento.
- **PRETAB:** El archivo órbita precisa (PRE), que se obtiene desde el IGS, se convierte a un archivo de órbita tabular BERNESE (TAB).
- **ORBGEN:** A partir del archivo de la órbita de tabular (TAB), un archivo órbita normal se crea por medio de la integración numérica de las ecuaciones de movimiento. Las órbitas son parametrizados por seis elementos osculadores¹⁰ y nueve parámetros dinámicos (por lo general asociados con la presión de radiación).
- **RNXGRA:** Se crea un resumen de todos los datos de observación disponibles, dando una visión completa de los satélites observados, estaciones involucradas, y su rendimiento.
- **RXOBV3AP:** Este script no inicia ningún programa. Elimina archivos de observación zero-difference de BERNESE para la sesión actual ya existente y prepara la ejecución en paralelo de la siguiente secuencia de comandos.
- **RXOBV3 P:** Ejecuta RXOBV3 en paralelo basado en los preparativos de la anterior script para convertir de RINEX a archivos de observación BERNESE. El programa compara los registros de datos en el encabezado RINEX con las entradas en el archivo de información de la estación.
- **CODSPP P:** Realiza un código basado en la zero-difference del posicionamiento punto, sobre todo para sincronizar los relojes del receptor a la hora GPS en un nivel sub-microsegundo.

¹⁰ Osculación: El contacto de una curva con otra, cuando el número de puntos consecutivos de este último a través del cual los antiguos pases suficiente para la determinación completa de la primera curva.

- **CODXTR:** Crea un resumen de los archivos de salida escritos en la etapa de CODSPP.
 - **SNGDIF:** Primero este script borra los archivos observación single-difference para la sesión actual para evitar una confusión en caso de reprocesamiento.
 - **MAUPRP_P:** Detección de mediciones defectuosas y saltos de ciclo que son detectadas y corregidas.
 - **MPRXTR:** Crea un resumen de la etapa de pre-procesamiento anterior.
 - **GPSEDT P:** Este script realiza una fase de selección residual de doble diferencia. Cuatro programas de BERNESE en total se inician en secuencia:
 - GPSEST para crear archivos residuales,
 - RESRMS para detectar estos archivos de valores atípicos,
 - SATMRK para marcar valores atípicos identificados, y
 - GPSEST crear (limpios) archivos residuales finales y almacenar archivos normales ecuación.
 - **GPCHK:** Comprueba los resultados del examen de la etapa anterior y rechaza los datos de las estaciones de mal comportamiento en caso de necesidad. Se utilizan dos programas:
 - RESRMS para crear resúmenes de los primeros (no apantallados) y finales archivos residuales.
 - RESCHK para crear estadísticas de detección residuales y detectar malas estaciones en función de su rendimiento general.
 - **HELMR1:** Las coordenadas estimadas de todos los sitios fiduciales involucradas son verificadas por medio de una transformación de Helmert tres parámetros.
- GPSXTR:** Un resumen se extrae de la salida de la solución final

3.3 VARIOWIN

El software Variowin 2.21, fue diseñado únicamente para la exploración y modelado de semivariogramas en dos dimensiones, permite realizar el análisis estructural de datos espaciales.

Para iniciar con Variowin primero se debe tener los datos en un formato específico (Geo-EAS), el cual es muy común en software estadístico, y deben estar en una extensión .dat. En la primera fila está el título de los datos, en la segunda fila debe ir el número de columnas o variables de datos incluidas las coordenadas X e Y, en las siguientes filas deben ir los nombres de cada variable (utilizando una fila por nombre) y finalmente vienen los datos que se están analizando.

```

VELOCIDADES
15
ESTACIONES
X
Y
Z
E
N
U
LAT
LONG
Vx
Vy
Vz
ve
Vn
vu
ALEC 1233231.8692 -6255435.5798 -243534.5300 0.0062 0.0081 -0.0236 -
CLEC 1109944.0174 -6266376.4814 -453457.4366 -0.0072 0.0049 -0.0159
CUEC 1215704.3290 -6255712.1864 -318818.9177 0.0013 0.0208 -0.0027 -
GYEC 1118628.4476 -6274783.7998 -237610.2185 -0.0586 0.1099 -0.0082
GZEC 1260716.8881 -6241813.2239 -375920.6113 -0.0025 0.0095 -0.0042
LJEC 1192829.0066 -6252161.6677 -440799.1384 -0.0076 0.0192 0.0024 -
MAEC 1312399.1283 -6237499.8529 -254805.7376 0.0022 0.0204 0.0007 -
MHEC 1110452.0235 -6270365.6261 -360372.7282 0.0022 0.0032 0.0031 -
PDEC 1198944.9728 -6244385.3530 -513442.6221 0.0001 0.0067 -0.0331 -
RIOP 1255144.9721 -6253609.4418 -182569.7705 0.0062 0.0192 0.0028 -

```

Figura 33. Archivo .dat en formato Geo-EAS

Variowin consta de 4 subprogramas que son extensiones .exe, lo que significa que corre en Windows, y los cuales deben ser ejecutadas por separado y en orden.

- **Prevar2d.-** Genera un archivo .pcf¹¹ en el cual están las distancias de todos los pares de puntos existentes en un conjunto de datos.

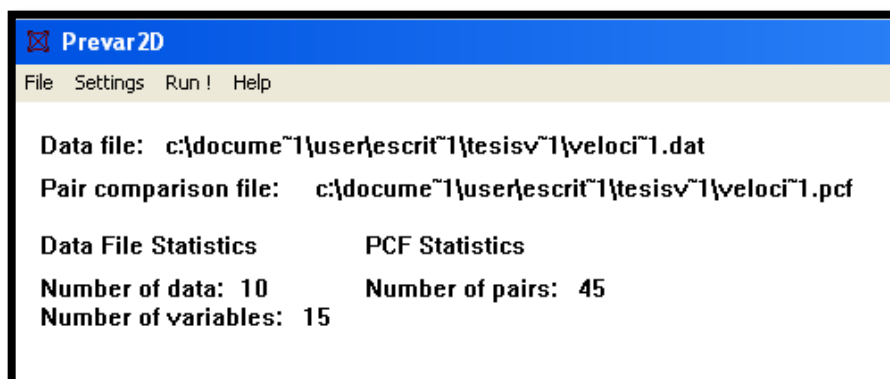


Figura 34. Archivo .pcf que genera el Prevar2D

- **Vario2d.-** Su función es de realizar un análisis variográfico exploratorio en 2D. El archivo que utiliza este programa es aquel que se formó en el Prevar2D de extensión .pcf.

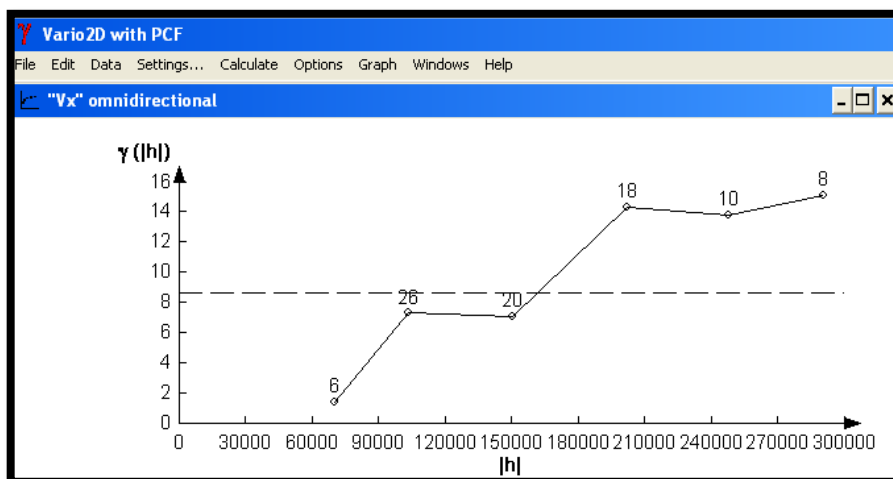


Figura 35. Archivo que genera el Vario2D para el análisis variográfico

- **Model.-** Permite realizar al usuario el ajuste de una variograma experimental a un modelo teórico.

¹¹ .pcf de Variowin: Archivo de Comparación de Pares (Pair Comparison File).

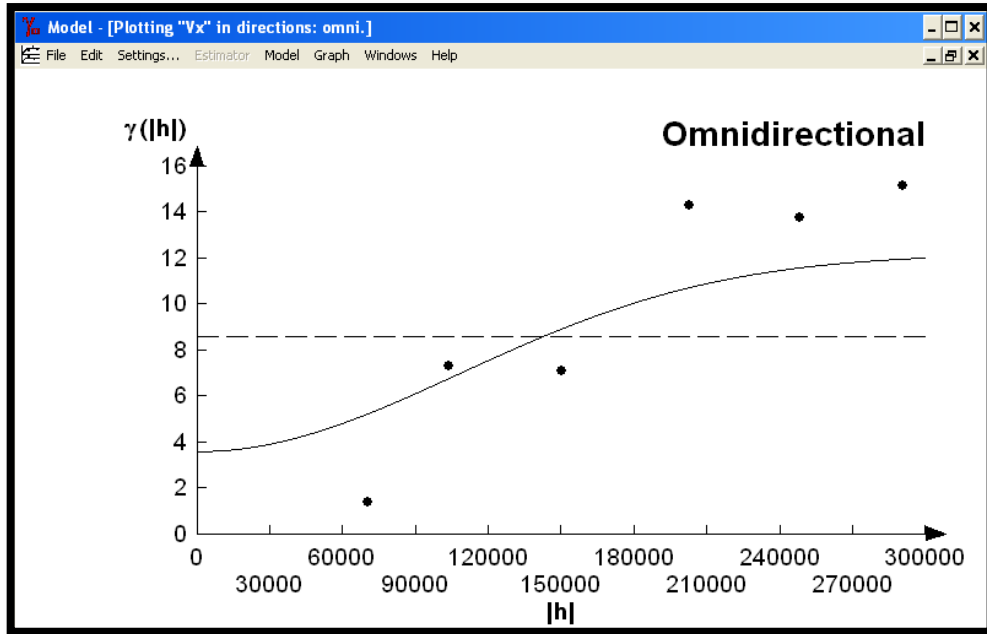


Figura 36. SemiVariograma que se genera Model

- **Grid.-** Representa los archivos de grilla como un mapa de pixels.

CAPITULO IV

MODELAMIENTO Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 GENERALIDADES

Una vez finalizado el procesamiento con Bernese y haber obtenido las soluciones posicionales, se procede al modelamiento y análisis de la regresión lineal utilizada para la obtención de las velocidades.

Para la obtención de las velocidades de cada componente se utilizó la pendiente y posición, que se calcula en la regresión lineal, y se la determina a través de la siguiente ecuación:

$$Y1 = mX + b ; (X = 0)$$

$$Y2 = mX + b ; (X = 365)$$

Así la velocidad sería la diferencia entre Y2 y Y1.

$$Vn = Y2 - Y1$$

Es importante señalar que el proceso correspondiente y las series temporales se los realizó a cada componente X, Y y Z de cada estación por separado, a través de la regresión múltiple de Excel.

Las estadísticas obtenidas por la regresión se presentan a continuación cada una con su línea de tendencia y su velocidad obtenida a través de las mismas.

4.2 ESTADÍSTICAS DE LA REGRESIÓN LINEAL Y DETERMINACIÓN DE VELOCIDADES

4.2.1 ALEC

- Para la componente en X:

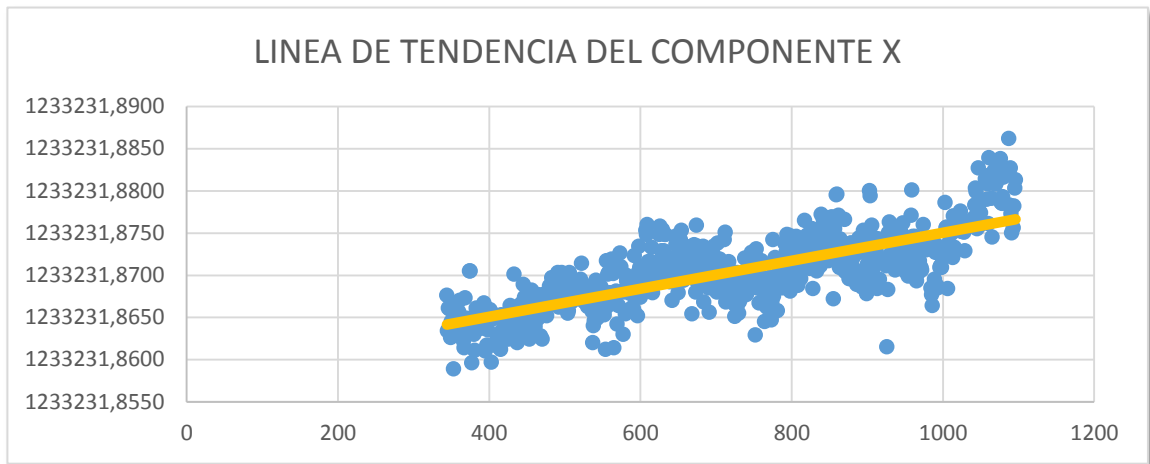


Figura 37. Línea de tendencia del componente X de ALEC

- Para la componente en Y

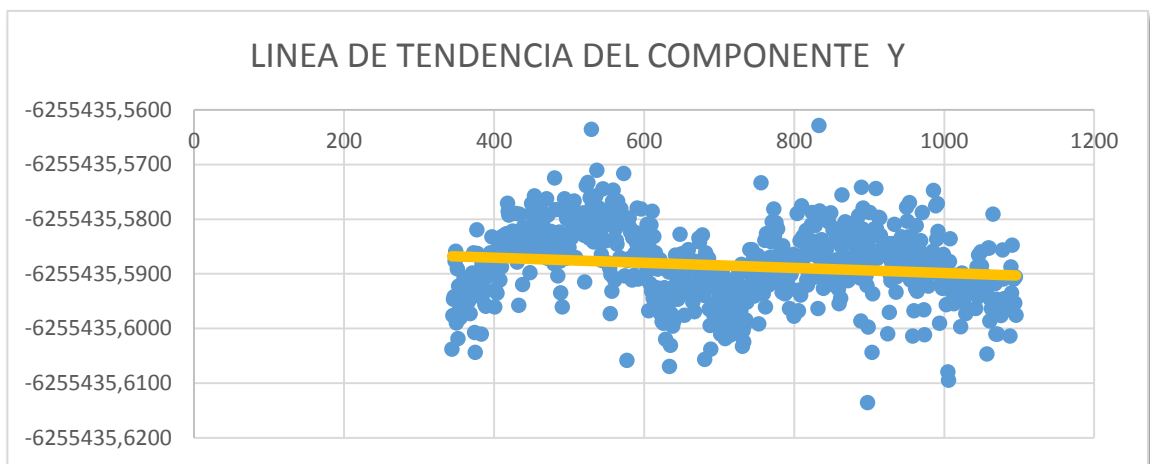


Figura 38. Línea de tendencia del componente Y de ALEC

- Para la componente en Z:

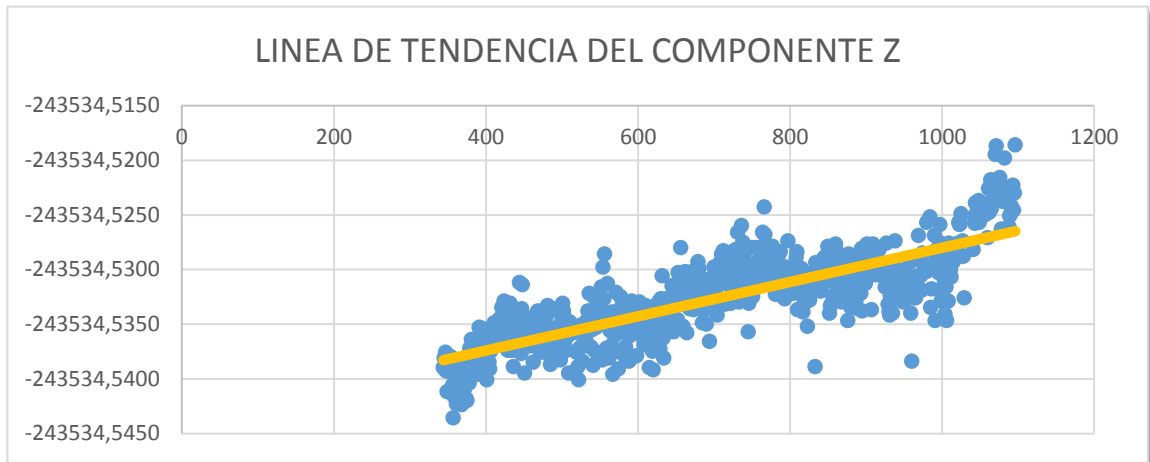


Figura 39. Línea de tendencia del componente Z de ALEC

4.2.2 CLEC

- Para la componente en X:

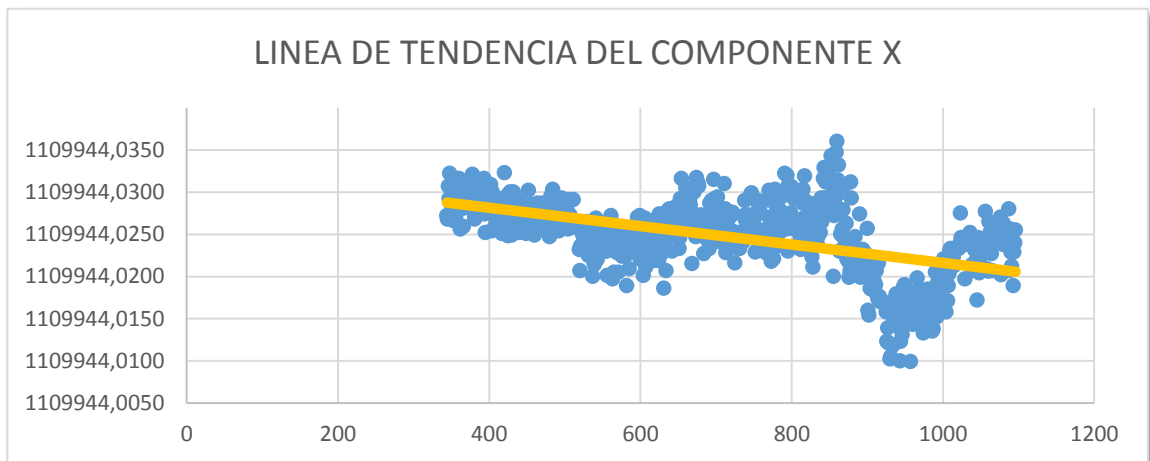


Figura 40. Línea de tendencia del componente X de CLEC

- Para la componente en Y

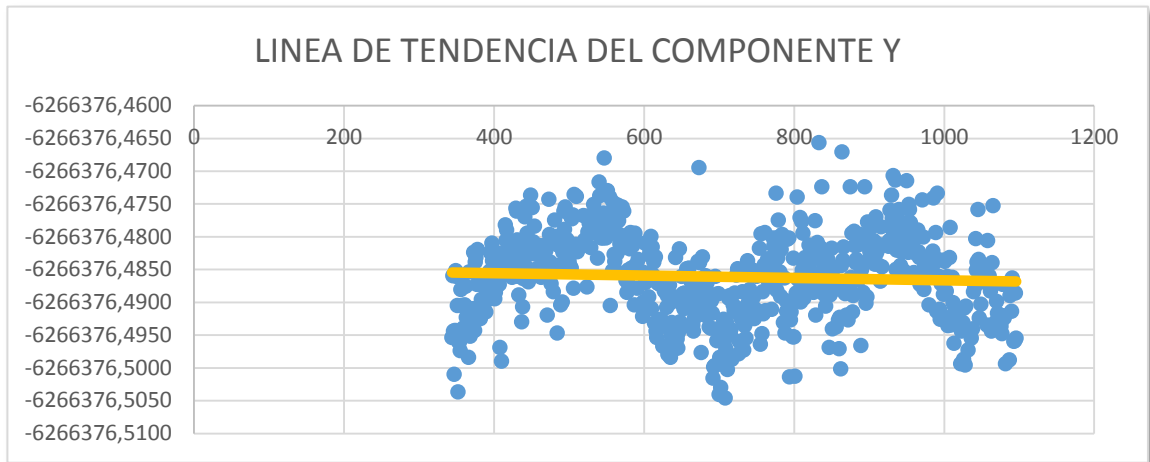


Figura 41. Línea de tendencia del componente Y de CLEC

- Para la componente en Z:

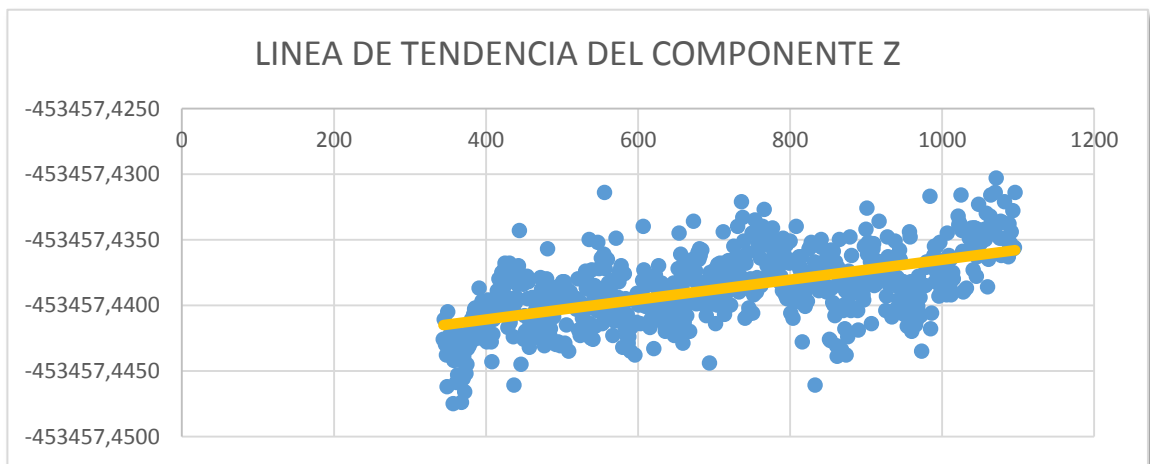


Figura 42. Línea de tendencia del componente Z de CLEC

4.2.3 CUEC

- Para la componente en X:

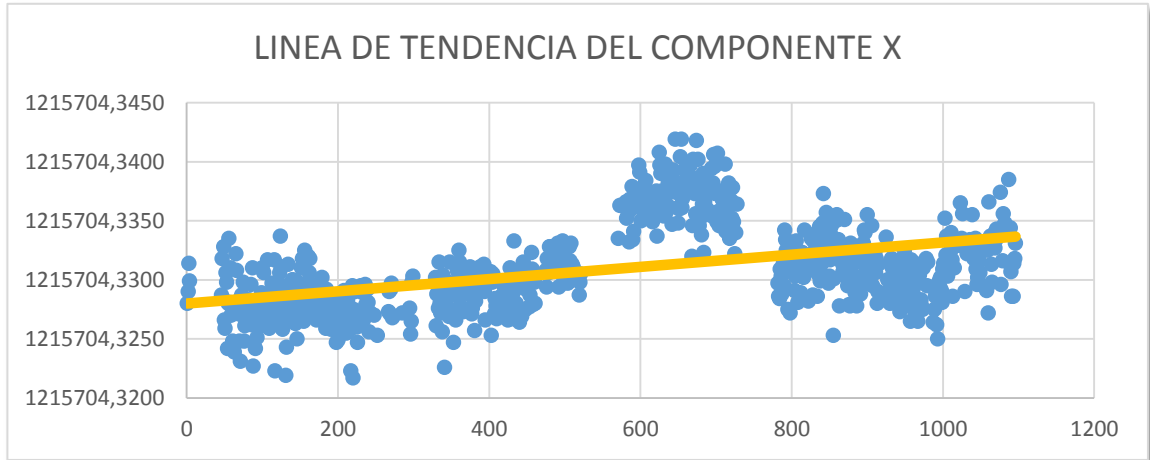


Figura 43. Línea de tendencia del componente X de CUEC

- Para la componente en Y

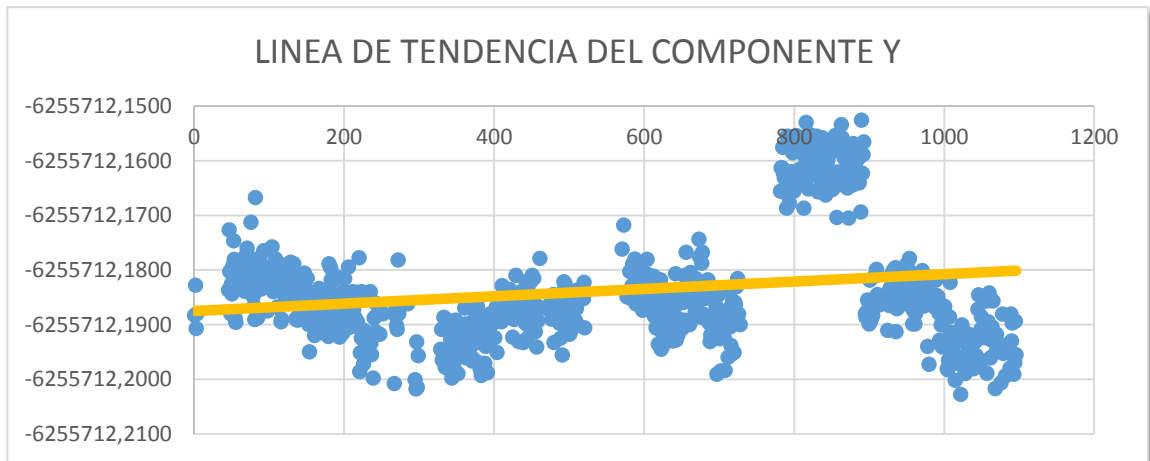


Figura 44. Línea de tendencia del componente Y de CUEC

- Para la componente en Z:

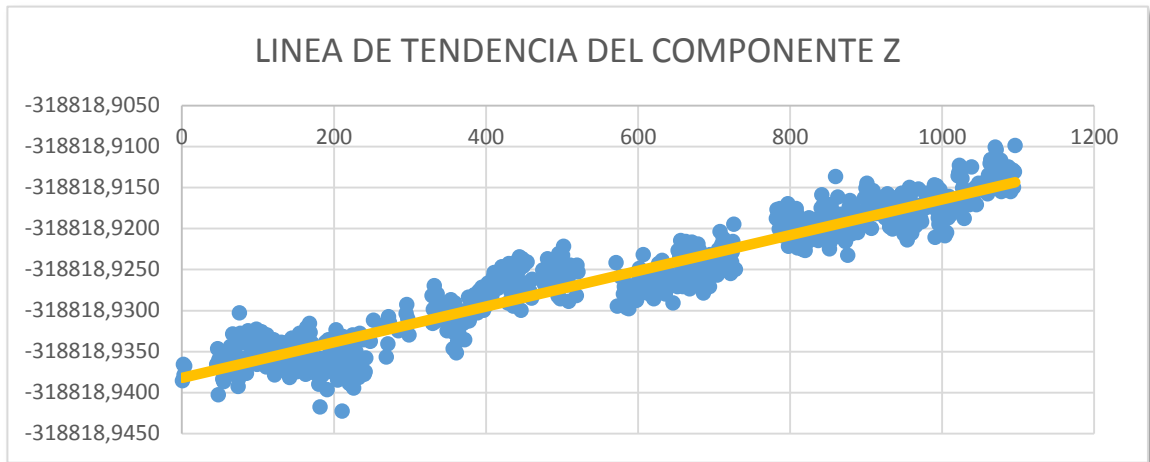


Figura 45. Línea de tendencia del componente Z de CUEC

4.2.4 GYEC

- Para la componente en X:

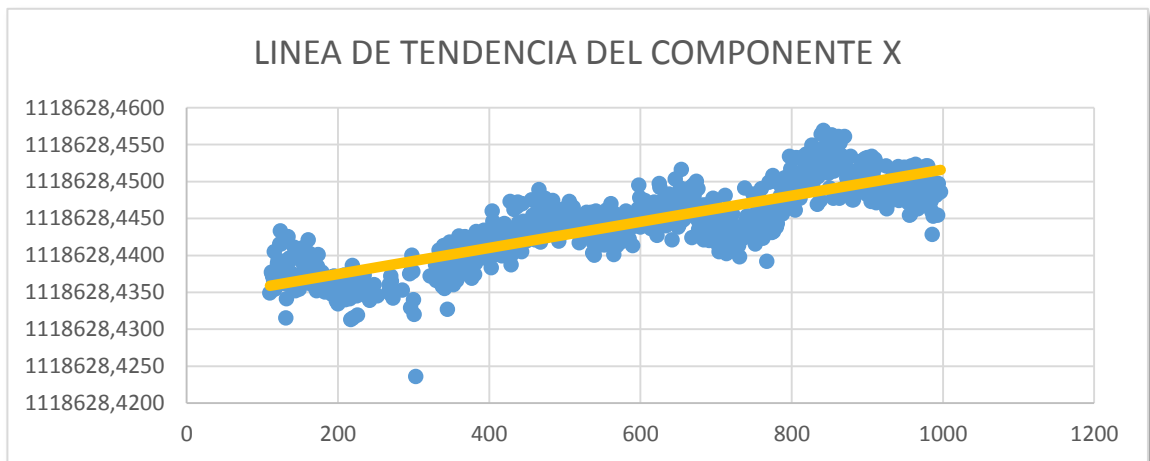


Figura 46. Línea de tendencia del componente X de GYEC

- Para la componente en Y

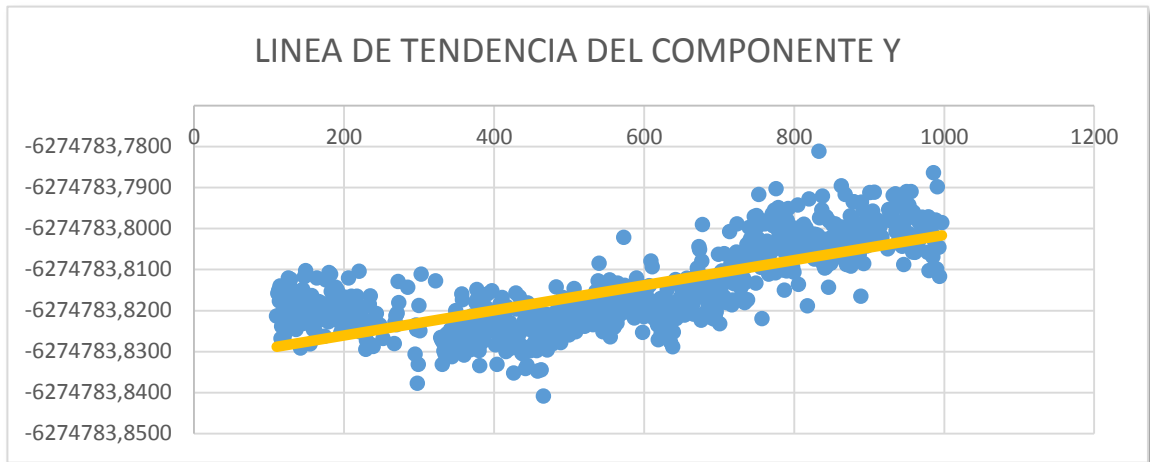


Figura 47. Línea de tendencia del componente Y de GYEC

- Para la componente en Z:

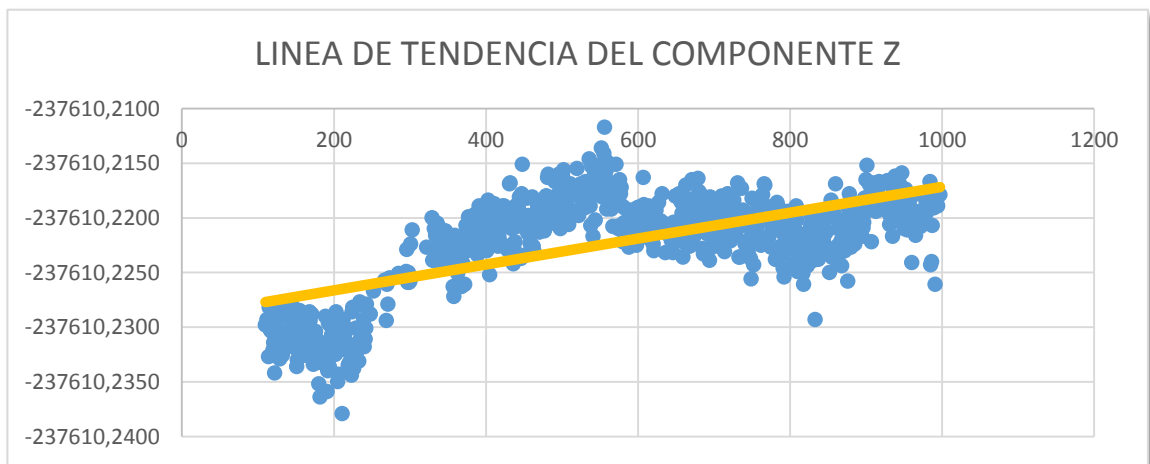


Figura 48. Línea de tendencia del componente Z de GYEC

4.2.5 GZEC

- Para la componente en X:

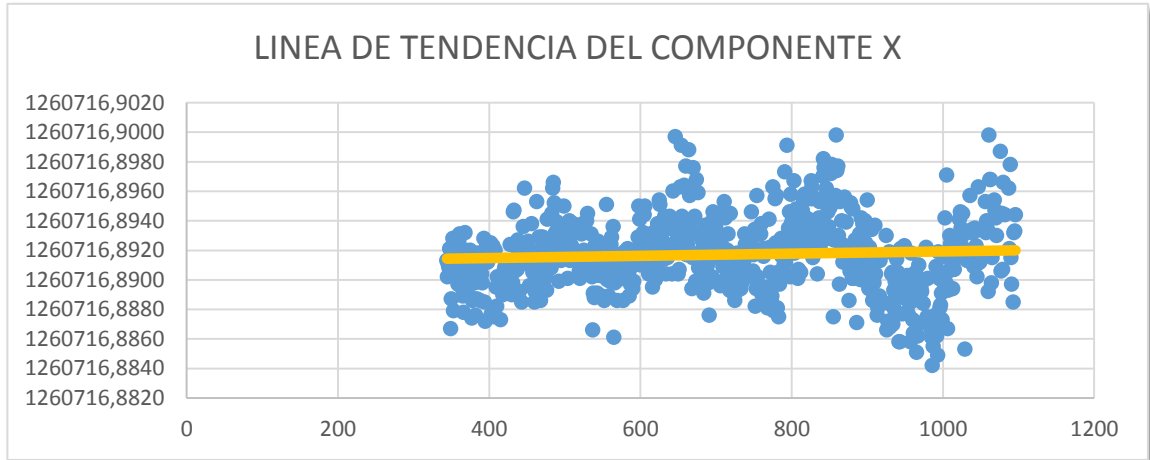


Figura 49. Línea de tendencia del componente X de GZEC

- Para la componente en Y

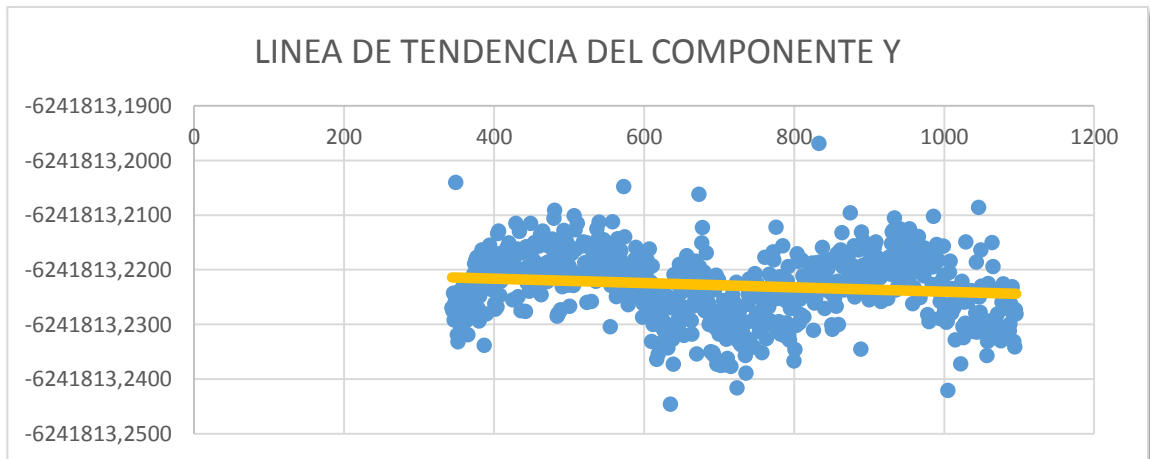


Figura 50. Línea de tendencia del componente Y de GZEC

- Para la componente en Z:

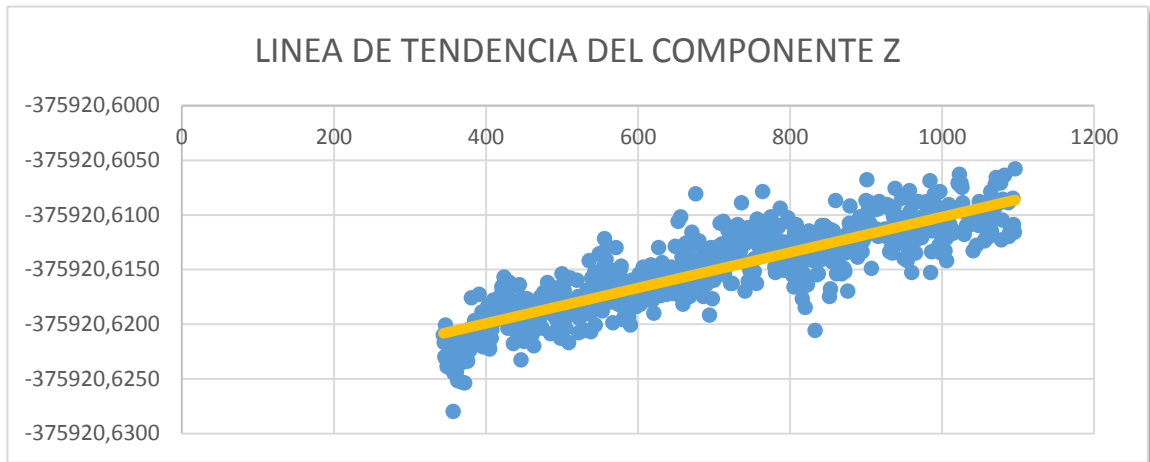


Figura 51. Línea de tendencia del componente Z de GZEC

4.2.6 LJEC

- Para la componente en X:

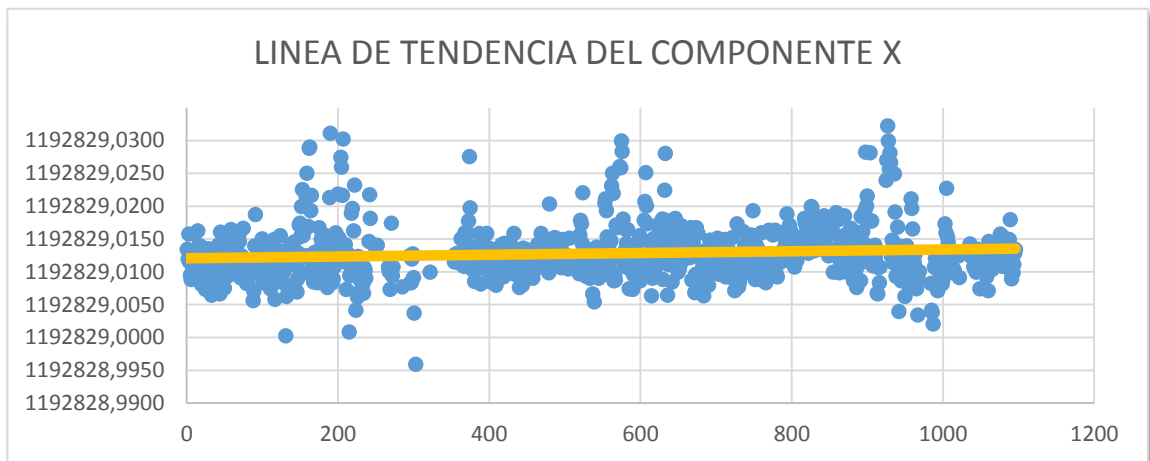


Figura 52. Línea de tendencia del componente X de LJEC

- Para la componente en Y

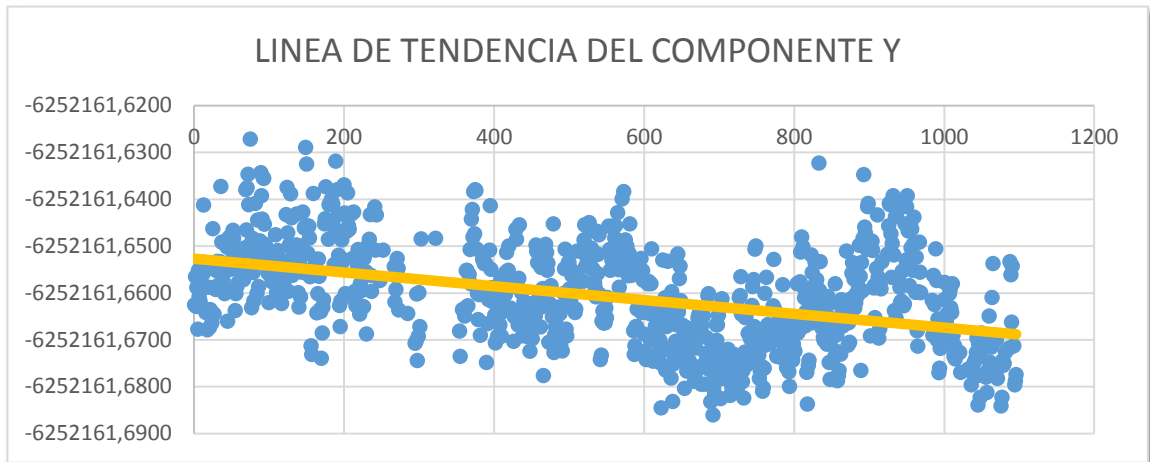


Figura 53. Línea de tendencia del componente Y de LJEC

- Para la componente en Z:

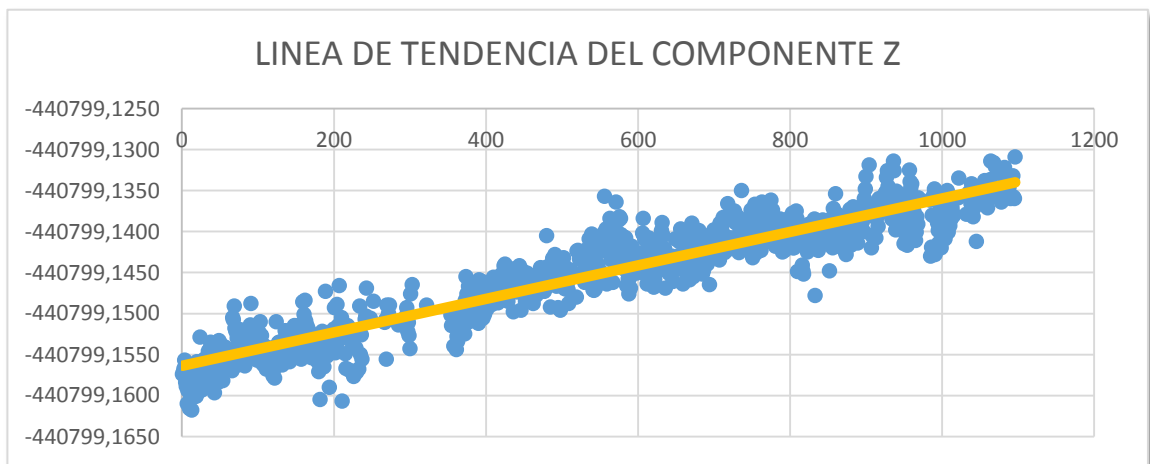


Figura 54. Línea de tendencia del componente Z de LJEC

4.2.7 MAEC

- Para la componente en X:

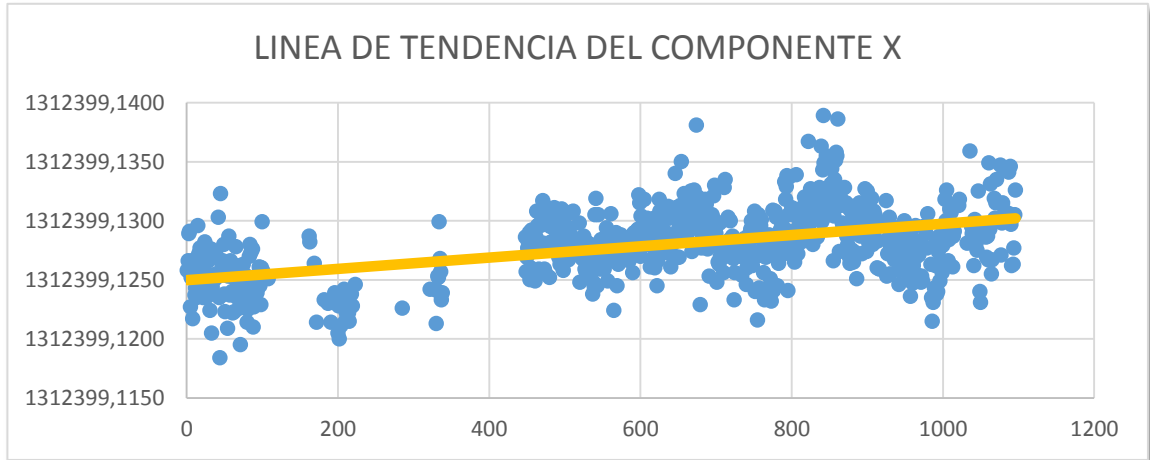


Figura 55. Línea de tendencia del componente X de LJEC

- Para la componente en Y

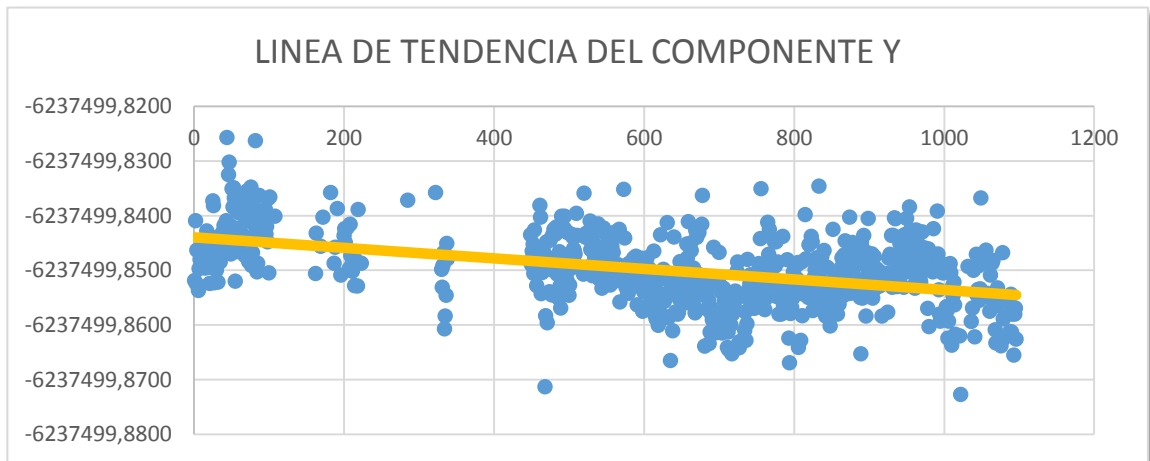


Figura 56. Línea de tendencia del componente Y de LJEC

- Para la componente en Z:

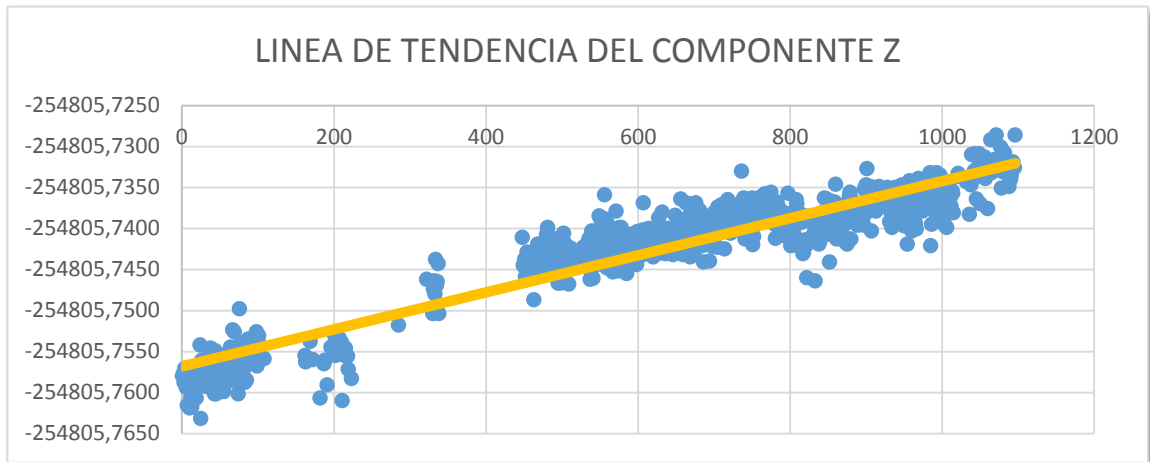


Figura 57. Línea de tendencia del componente Z de LJEC

4.2.8 MHEC

- Para la componente en X:

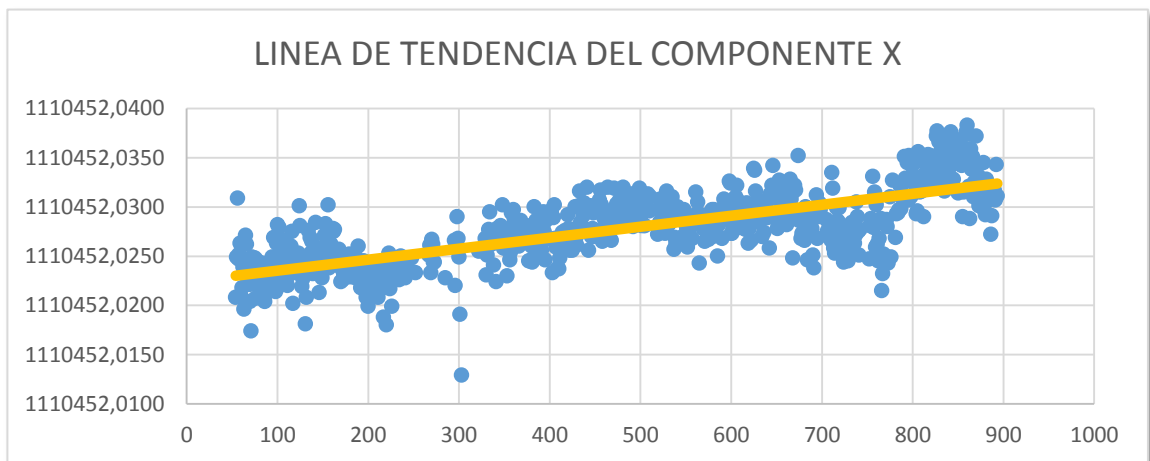


Figura 58. Línea de tendencia del componente X de MHEC

- Para la componente en Y

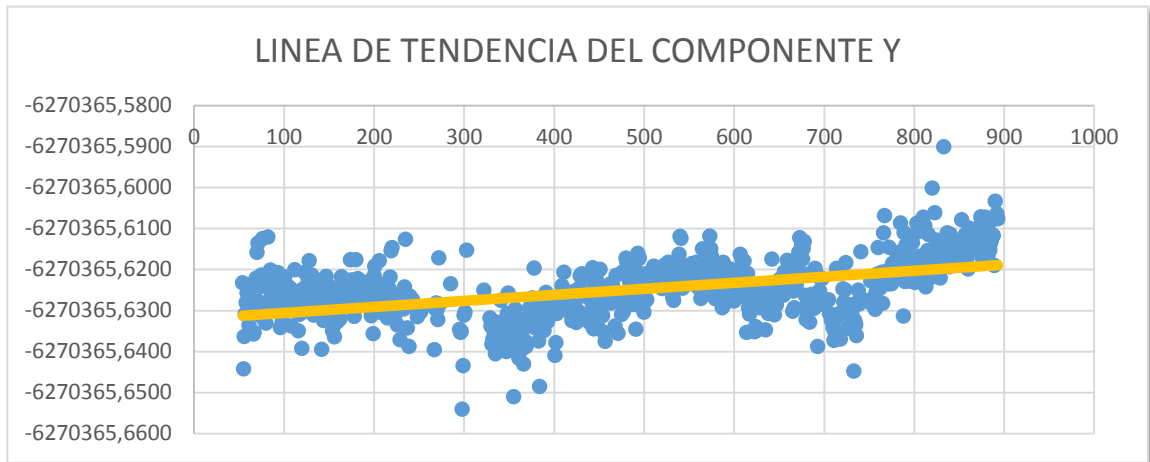


Figura 59. Línea de tendencia del componente Y de MHEC

- Para la componente en Z:

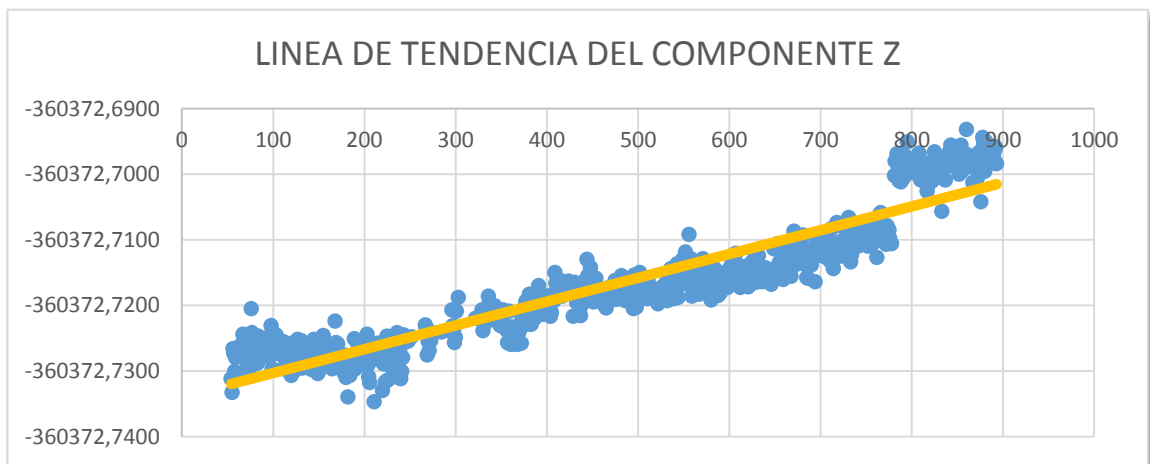


Figura 60. Línea de tendencia del componente Z de MHEC

4.2.9 PDEC

- Para la componente en X:

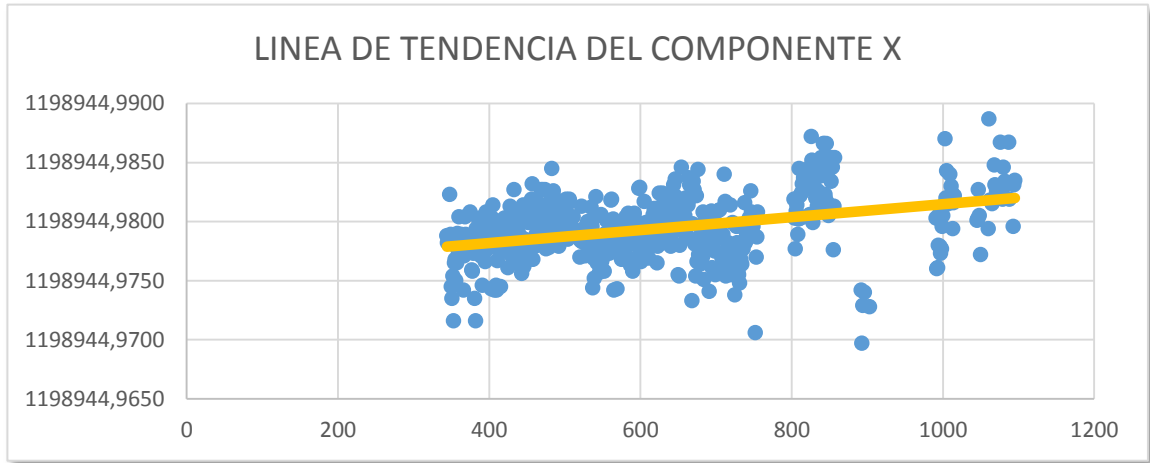


Figura 61. Línea de tendencia del componente X de PDEC

- Para la componente en Y

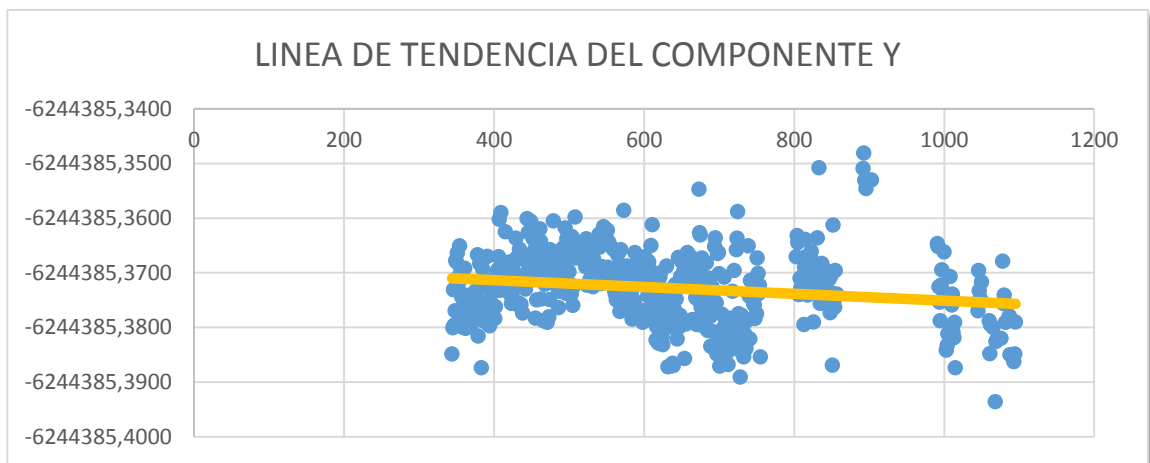


Figura 62. Línea de tendencia del componente Y de PDEC

- Para la componente en Z:

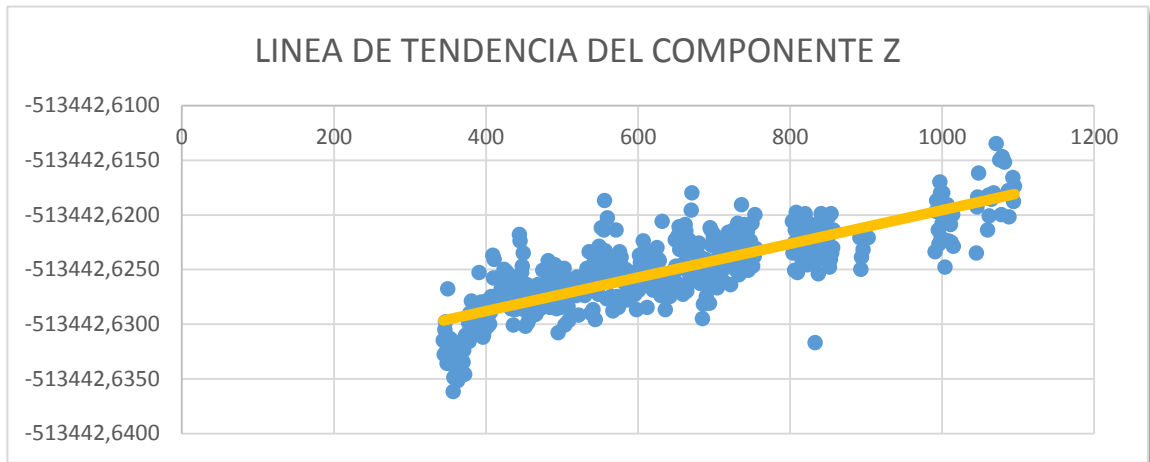


Figura 63. Línea de tendencia del componente Z de PDEC

4.2.10 RIOP

- Para la componente en X:

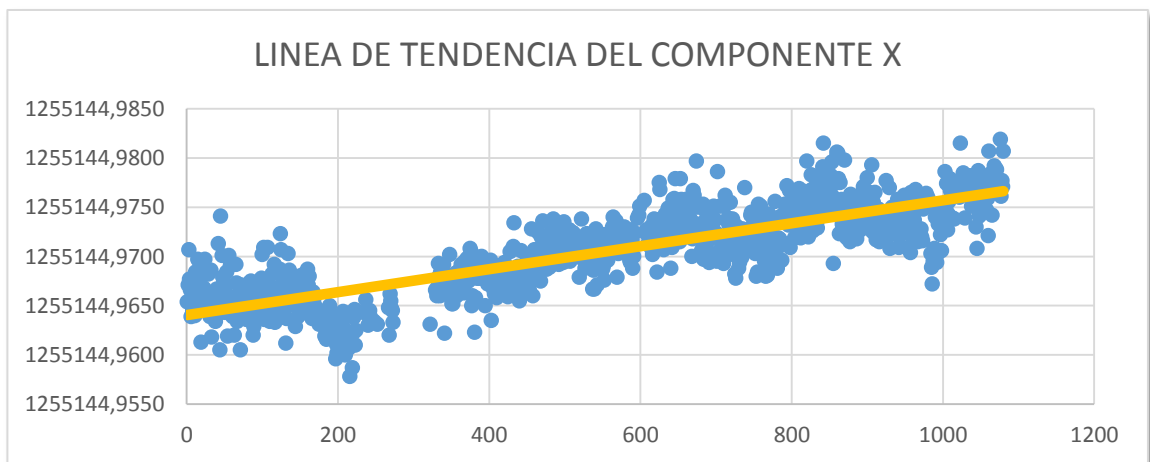


Figura 64. Línea de tendencia del componente X de RIOP

- Para la componente en Y

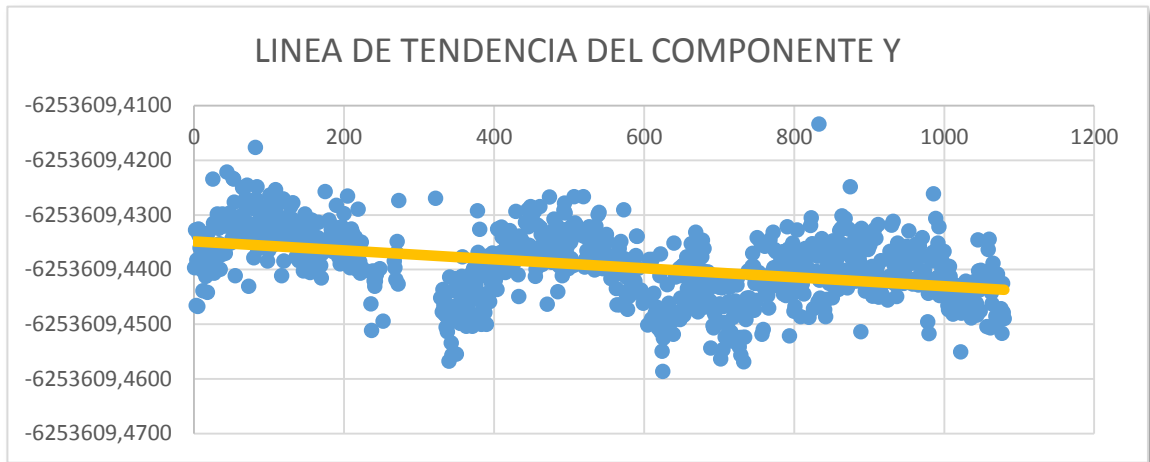


Figura 65. Línea de tendencia del componente Y de RIOP

- Para la componente en Z:

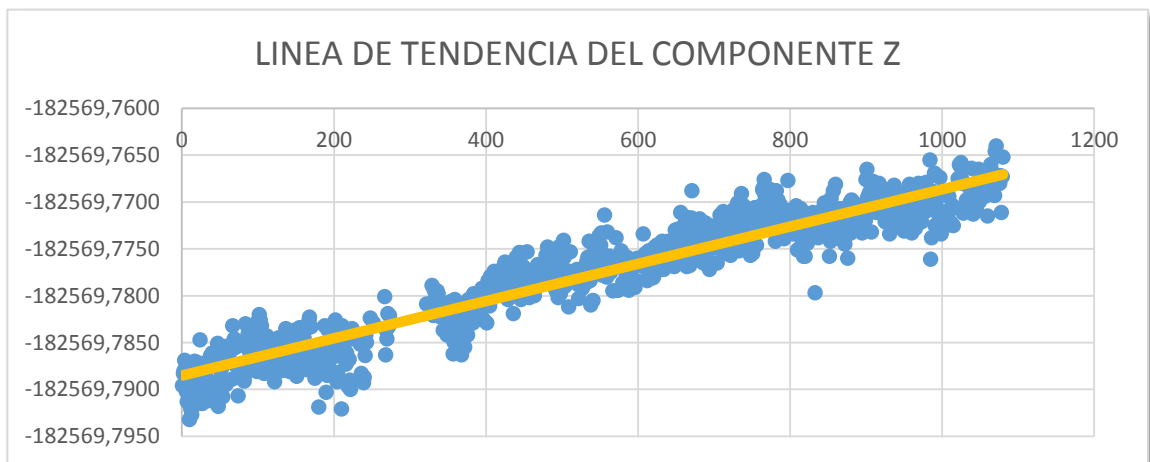


Figura 66. Línea de tendencia del componente Z de RIOP

TABLA 3. Estadísticas de la Regresión y Velocidades

ESTACIÓN	COMPONENTES	ESTADÍSTICAS DE REGRESIÓN				COEFICIENTES		VELOCIDAD (m/año)
		R square	Ajuste R square	Error Stándar	Observaciones	m	b	
ALEC	X	0.59887652	0.59827873	0.00285629	673	1233231.9	1.66402E-05	0.0060737
	Y	0.02255881	0.02110212	0.00669587	673	-6255435.6	-4.85005E-06	-0.0017703
	Z	0.65138484	0.65086530	0.00240519	673	-243534.5	0.000015676	0.0057216
CLEC	X	0.28490001	0.28383110	0.00365874	671	1109944.0	-0.000010936	-0.0039915
	Y	0.00389018	0.00240123	0.00645670	671	-6266376.5	-1.9107E-06	-0.0006974
	Z	0.32794207	0.32693750	0.00228996	671	-453457.4	7.5748E-06	0.0027648
CUEC	X	0.19908720	0.19802498	0.00331698	756	1215704.3	0.000005164	0.0018849
	Y	0.04028664	0.03901212	0.01051252	755	-6255712.2	6.7244E-06	0.0024544
	Z	0.91158420	0.91146709	0.00217046	757	-318818.9	0.000021764	0.0079438
GYEC	X	0.71681734	0.71644374	0.00278977	760	1118628.4	0.000017648	0.0064414
	Y	0.54789754	0.54730110	0.00701445	760	-6274783.8	0.000030702	0.0112064
	Z	0.41969929	0.41893373	0.00350639	760	-237610.2	0.000011856	0.0043276
GZEC	X	0.00394052	0.00246269	0.00253588	676	1260716.9	7.5766E-07	0.0002765
	Y	0.01863126	0.01717522	0.00611702	676	-6241813.2	-4.0036E-06	-0.0014613
	Z	0.75071794	0.75034808	0.00196964	676	-375920.6	0.000016236	0.0059263
LJEC	X	0.01035700	0.00922900	0.00413500	880	1192829.0	1.35238E-06	0.0004936
	Y	0.18379394	0.18286432	0.00974216	880	-6252161.7	-1.47784E-05	-0.0053941
	Z	0.88036000	0.88022400	0.00235400	880	-440799.2	0.000020412	0.0074504
MAEC	X	0.23456112	0.23346920	0.00266016	703	1312399.1	4.79195E-06	0.0017491
	Y	0.20870628	0.20757747	0.00580131	703	-6237499.8	-9.6952E-06	-0.0035387
	Z	0.88337305	0.88320668	0.00252457	703	-254805.8	2.26095E-05	0.0082525
MHEC	X	0.55316770	0.55252292	0.00250608	695	1110452.0	1.11137E-05	0.0040565
	Y	0.23934362	0.23824599	0.00661678	695	-6270365.6	1.47935E-05	0.0053996
	Z	0.86457966	0.86438425	0.00360847	695	-360372.7	3.63407E-05	0.0132644

CONTINÚA 

PDEC	X	0.14146656	0.13971445	0.00259456	492	1198945.0	5.50493E-06	0.0020093
	Y	0.03583299	0.03386531	0.00640764	492	-6244385.4	-6.45659E-06	-0.0023567
	Z	0.65567724	0.65497454	0.00213273	492	-513442.6	1.53829E-05	0.0056148
RIOP	X	0.67431839	0.67394997	0.00254966	886	1255145.0	0.000011673	0.0042607
	Y	0.16098086	0.16003174	0.00590269	886	-6253609.4	-8.22651E-06	-0.0030027
	Z	0.90208736	0.90197660	0.00205723	886	-182569.8	0.000019868	0.0072518

4.3 MODELOS GEOESTADÍSTICOS

Las funciones que se utilizaron en este estudio son capaces de representar las características del variograma descritas anteriormente, además de ser las más usadas por los diferentes programas, las cuales son el modelo esférico, exponencial y gaussiano.

Se realizó todos los modelos antes mencionados a cada componente (V_x , V_y , V_z) y los que obtuvieron un menor error cuadrático medio, se los utilizó para el cálculo de las velocidades en cualquier otro punto no muestreado.

4.3.1 MODELO ESFÉRICO

Este modelo es una covarianza definida hasta en 3 dimensiones. Se lo utilizó para la velocidad en la componente X, y el semivariograma y sus características son las siguientes:

TABLA 4. Características del semivariograma en la componente X

Co	NUGGET	0.69718
C1	SILL	13.409
A	RANGE	327210

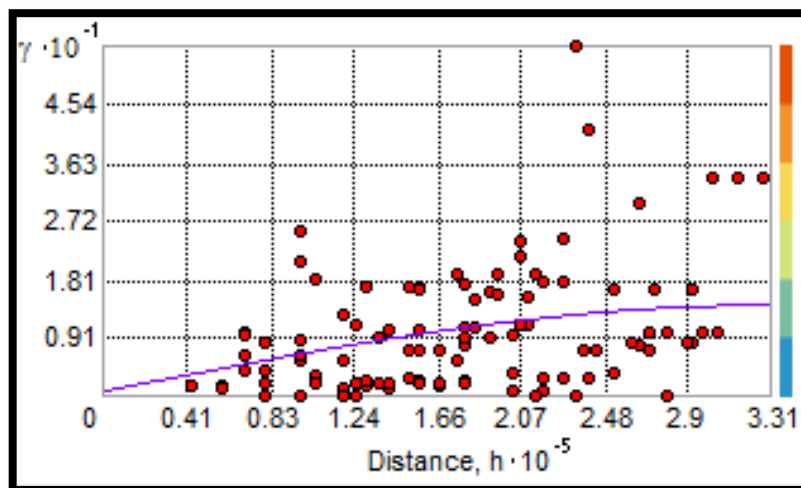


Figura 67. Semivariograma de la componente X

4.3.2 MODELO GAUSSIANO

Este modelo es una covarianza definida para cualquier dimensión espacial, se caracteriza porque en su origen posee un comportamiento parabólico. Se lo utilizó para la velocidad en la componente Y, y el semivariograma y sus características son las siguientes:

TABLA 5. Características del semivariograma en la componente Y

Co	NUGGET	0.034332
C1	SILL	34.332
A	RANGE	218512

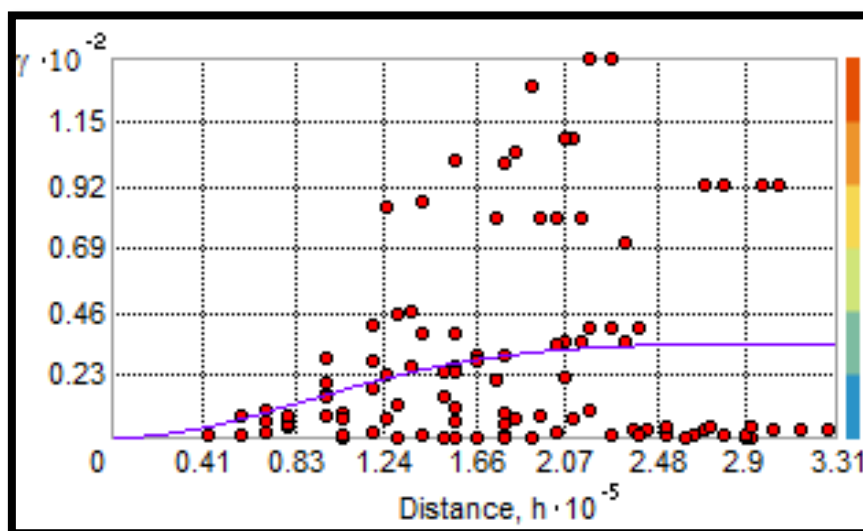


Figura 68. Semivariograma de la componente Y

4.3.3 MODELO EXPONENCIAL

Este modelo es una covarianza definida para cualquier dimensión espacial, se caracteriza por tener un crecimiento menor que el modelo esférico. Se lo utilizó para la velocidad en la componente Z, y el semivariograma y sus características son las siguientes:

TABLA 6. Características del semivariograma en la componente Z

Co	NUGGET	0
C1	SILL	8.2771
A	RANGE	94245.7

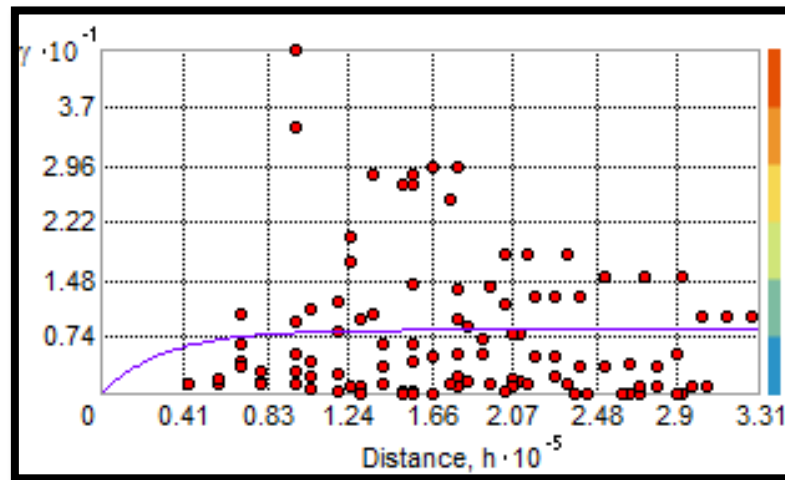


Figura 69. Semivariograma de la componente Z

4.4 PROGRAMA PARA EL CÁLCULO DE VELOCIDADES

Analizados los modelos anteriores se procede a realizar el cálculo mediante Excel y Matlab los cuales se describen a continuación:

EXCEL:

1. Se procede a transformar las coordenadas geocéntricas X, Y, Z en coordenadas topocéntricas E,N,U mediante la ecuación:

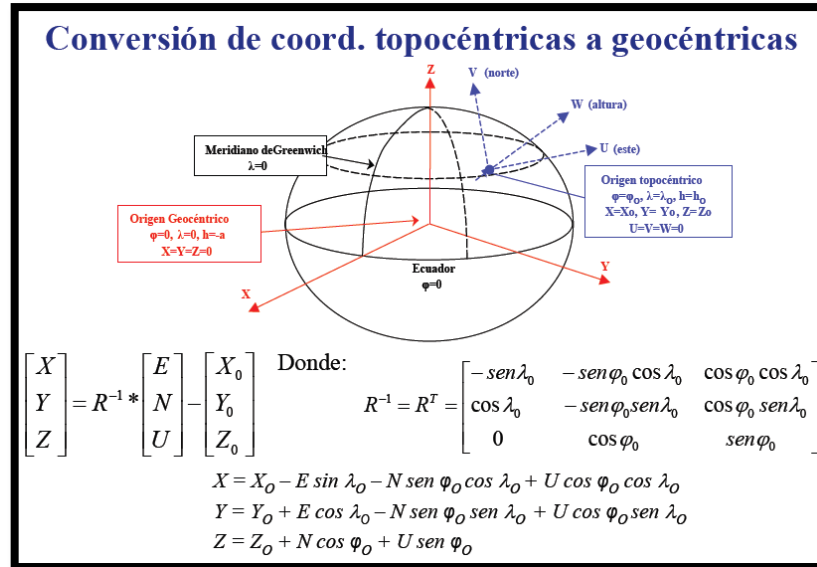


Figura 70. Transformación de Coordenadas

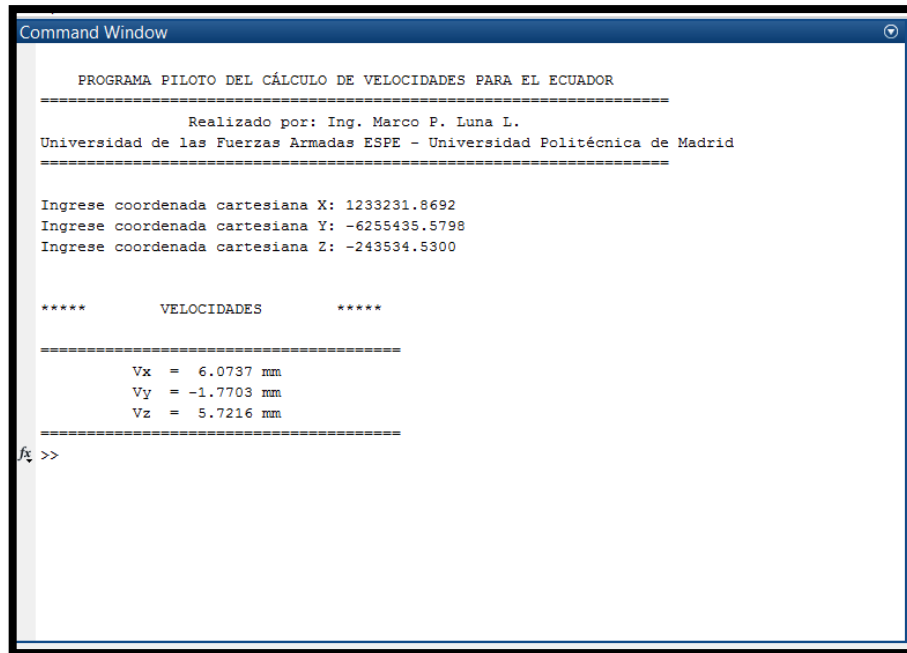
Fuente: (Drewes & Heidbach, 2012)

2. Mediante predicción espacial descrita anteriormente en el capítulo 2 de esta tesis, se obtuvo las velocidades: V_x , V_y , V_z .
3. Finalmente se realiza una interface amigable con el usuario en donde solo ingrese las coordenadas geocéntricas y obtenga las velocidades en milímetros.

DETERINACIÓN DE VELOCIDADES		
Creado por: Martínez Alejandro y Morillo Alfonso		
Ingrese las coordenadas		
X	Y	Z
1233231.8692	-6255435.5798	-243534.5300
Para estas coordenadas las velocidades son:		
Vx	Vy	Vz
6.0737	-1.7703	5.7216

Figura 71. Interfaz en Excel del cálculo de velocidades.

MATLAB:



```
Command Window

PROGRAMA PILOTO DEL CÁLCULO DE VELOCIDADES PARA EL ECUADOR
=====
Realizado por: Ing. Marco P. Luna L.
Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE - Universidad Politécnica de Madrid
=====

Ingrese coordenada cartesiana X: 1233231.8692
Ingrese coordenada cartesiana Y: -6255435.5798
Ingrese coordenada cartesiana Z: -243534.5300

*****      VELOCIDADES      *****

=====
Vx = 6.0737 mm
Vy = -1.7703 mm
Vz = 5.7216 mm
=====

fx >>
```

Figura 72. Interfaz en Matlab del cálculo de velocidades.

Fuente: Luna, Programa Piloto Del Cálculo De Velocidades Para El Ecuador, 2015.

Coincidiendo en ambos casos (EXCEL y MATLAB) con los resultados, por ende se puede utilizar cualquiera de los dos métodos para el cálculo del campo de velocidades.

CONCLUSIONES

- Para el procesamiento de los datos crudos de las diez estaciones, se pasó el control de calidad de los datos que se realiza mediante la comparación con los obtenidos por las estaciones de otras redes internacionales, por ejemplo IGS. Para ello se utiliza el software TEQC de UNAVCO, que permite realizar diversos análisis a partir de los datos observados en formato RINEX.
- En alusión al análisis de calidad de los datos posicionales de las estaciones REGME, se observa en todos los archivos saltos de ciclo y valores de multipath cercanos a la media, los cuales al evaluarlos se determinó que datos cumplen con las normas mínimas establecidas para la inclusión en el procesamiento.
- La regresión lineal utilizada para calcular las velocidades de las estaciones no es el método más adecuado aunque sí el más utilizado, ya que al momento de calcular su coeficiente de correlación (R^2) este resulta ser muy bajo por la gran cantidad de datos que se maneja en el estudio.
- Utilizando el programa Variowin no se pudo realizar el modelamiento geoestadístico que presenta dicho software, debido a la falta de estaciones, es decir con pocos datos el programa no es capaz de elegir un modelo adecuado.
- Este modelo piloto ayudará a resolver varias falencias que se podrían presentar en un proyecto de mayor escala, además que las velocidades obtenidas a través de estos procesos resultaron buenas para la cantidad de datos que se utilizaron.
- De acuerdo al mapa de campo de velocidades se puede manifestar que la estación CLEC perteneciente a la REGME, deforma de manera

importante al modelo debido a la tectónica de placas, ya que este fenómeno da lugar al surgimiento de las fallas geológicas, las mismas que se encuentra en la provincia de Loja siendo su principal falla activa la de Celica-Macará, la cual ha presentado actividad durante los años que se realizó el presente estudio afectando de manera directa al resultado final obtenido.

- Es necesario que cada cierto tiempo se actualice el modelo ya que este puede quedar inservible tras un fuerte movimiento telúrico, además que para cada componente X, Y y Z los modelos pueden variar dependiendo de los datos que se obtengan en los siguientes años.

RECOMENDACIONES

- Para un análisis acertado de los datos se debe tener en cuenta la información proporcionada por el control de calidad (TEQC), y hacer una depuración de los mismos, ya que existe la posibilidad de tener datos atípicos que modifiquen los resultados esperados.
- Debido a las falencias que se encontraron en el uso de esta metodología (regresión lineal), se recomienda utilizar otros métodos de series temporales para realizar un mejor cálculo de las velocidades.
- Para realizar un procesamiento adecuado de los datos se debe armar adecuadamente las carpetas del software BERNESE, como se encuentran especificadas en esta tesis, ya que caso contrario no se podría iniciar el procesamiento en dicho software.
- Para realizar un estudio completo en el ámbito de campo de velocidades se debe tener en cuenta varios factores entre los cuales el más importante a mencionar es el mapa geológico con el cual se debe tomar decisiones acertadas en el momento de realizar el modelo, ya que como quedó demostrado en esta tesis la estación CLEC se encuentra dentro de una falla geológica, la cual modifica el resultado del modelo en cuestión.

BIBLIOGRAFÍA

- Burt, J., Barber, G., & Rigby, D. (2009). *Elementary Statistics for Geographers*. New York: The Guilford Press.
- Cambardella, C., Moorman, T., Novak, J., Parkin, T., Karlen, D., Turco, R., & Konopka, A. (1994). Field-scale variability of soil properties in central Iowa soils. *Soil Science Society of American Journal* 58, 1501-1511.
- Dach, R., Hugentobler, U., Fridez, P., & Meindl, M. (2007). *Bernese GPS Software Version 5.0*. Suiza: Astronomical Institute University of Bern.
- Drewes, H., & Heidbach, O. (2012). *The 2009 Horizontal Velocity Field for South America and the Caribbean*. IAG Symposia, 136:657-664.
- Jaramillo, D. (2003). *La variabilidad de las propiedades del suelo y su efecto sobre el manejo de la fertilidad. Curso teórico-práctico sobre interpretación de análisis de suelos*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Jaramillo, D. (2011). *Repelencia al agua en Andisoles en Antioquia*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Leiva, C. (2014). *Determinación de modelos de predicción espacial de la variable ondulación geoidal, para la zona urbana del cantón Quito y la zona rural del cantón Guayaquil, utilizando técnicas geoestadísticas*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Luna, M. (2012). *Análisis y aplicación de técnicas geoestadísticas para la clasificación agrológica de suelos de la hacienda el Prado IASA - ESPE*. Quito: Escuela Politécnica Nacional - EPN.
- Luna, M. (2015). *PROGRAMA PILOTO DEL CÁLCULO DE VELOCIDADES PARA EL ECUADOR*. Quito.
- Martínez Valverde, J. F. (2015). *Investigación Comercial*. Madrid: Paraninfo S.A.
- Montero, J., & Larraz, B. (2008). *Introducción a la Geoestadística Lineal*. España: NetBiblio.
- Moreno, A. (2008). *Sistemas y Análisis de la Información Geográfica*. Alfaomega.
- Oliver, M. (2010). *Geostatistics Applications for Precision Agriculture*. New York: Springer Science+Business Media BV.
- Pilapanta, C. (2013). *Estudio metodológico de la dinámica espacial de la Estación de Monitoreo Continuo Riobamba (RIOP) y su influencia en la determinación del modelo de velocidades del Ecuador*. Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.
- Pilapanta, C., & Tierra, A. (2010). *Elaboración de un modelo de velocidades, a partir de datos GPS generados por la Red GNSS de Monitoreo Continuo del Ecuador*. Sangolquí.
- Rubén, J. (2006). *INFORME ACTIVIDAD SÍSMICA ZONA SUR-OCCIDENTE DE LA PROVINCIA DE LOJA*. Loja: Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional.

- SIRGAS. (2015, Mayo 20). *SIRGAS*. Retrieved from SIRGAS:
<http://www.sirgas.org/index.php?id=153>
- Tierra, A. (2010). Modelo de velocidades usando una Red Neuronal Artificial. *Memorias de la reunion Sirgas 2010*. Lima: IPGH.
- Valverde C, J. F. (2013). *Seminario: Mantenimiento de marcos de referencia*. Costa Rica.
- Valverde C, J. F. (2014). *Diseño Geodésico I*.
- Vasques, G. (2012). *Introducción a la Geoestadística*. Rio de Janeiro: Proyecto del sistema de información de suelos de Latinoamérica - Fase II.
- Viñals, M. P. (2001). *Series Temporales*. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya.
- Viteri, A., & Tierra, A. (2012). *Control de calidad de archivos RINEX con TEQC*. Sangolquí: Revista Digital del VII Congreso de Ciencia y Tecnología ESPE.
- Winckell, A. (1992). *Las condiciones generales del Medio Natural*. Quito: CEDIG.
- Winter, T. (1990). Bosquejo de la Evolución Geodinámica del Ecuador. In *Geografía Básica del Ecuador* (pp. 15-20). Quito: CEDIG.

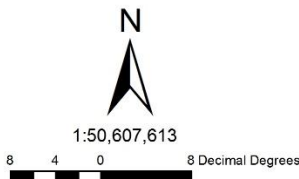
ANEXOS

ANEXO 1

ESTACIONES DE PROCESAMIENTO



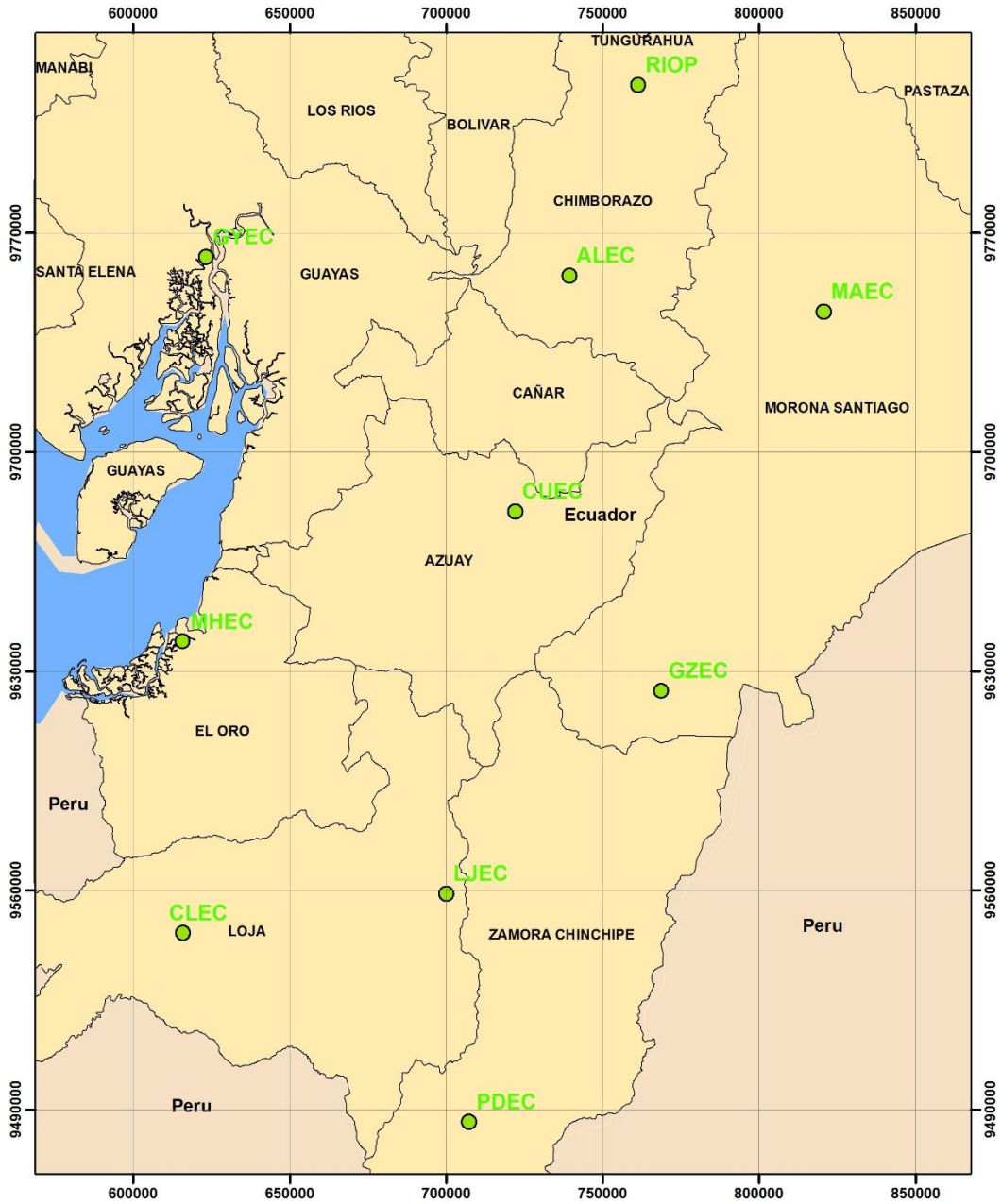
LEYENDA	
	AMERICA
	ECUADOR
	ESTACIONES_IGS



UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE	
TEMA: Estaciones de Procesamiento	ESCALA: 1:46,000,000
INFORMACIÓN BASE: SIRGAS	ELABORADO POR: Martínez W. y Mbrillo A.

ANEXO 2

ESTACIONES REGME - ECUADOR



LEYENDA

- ESTACIONES_REGME
- PROVINCIAS
- AMERICA

N

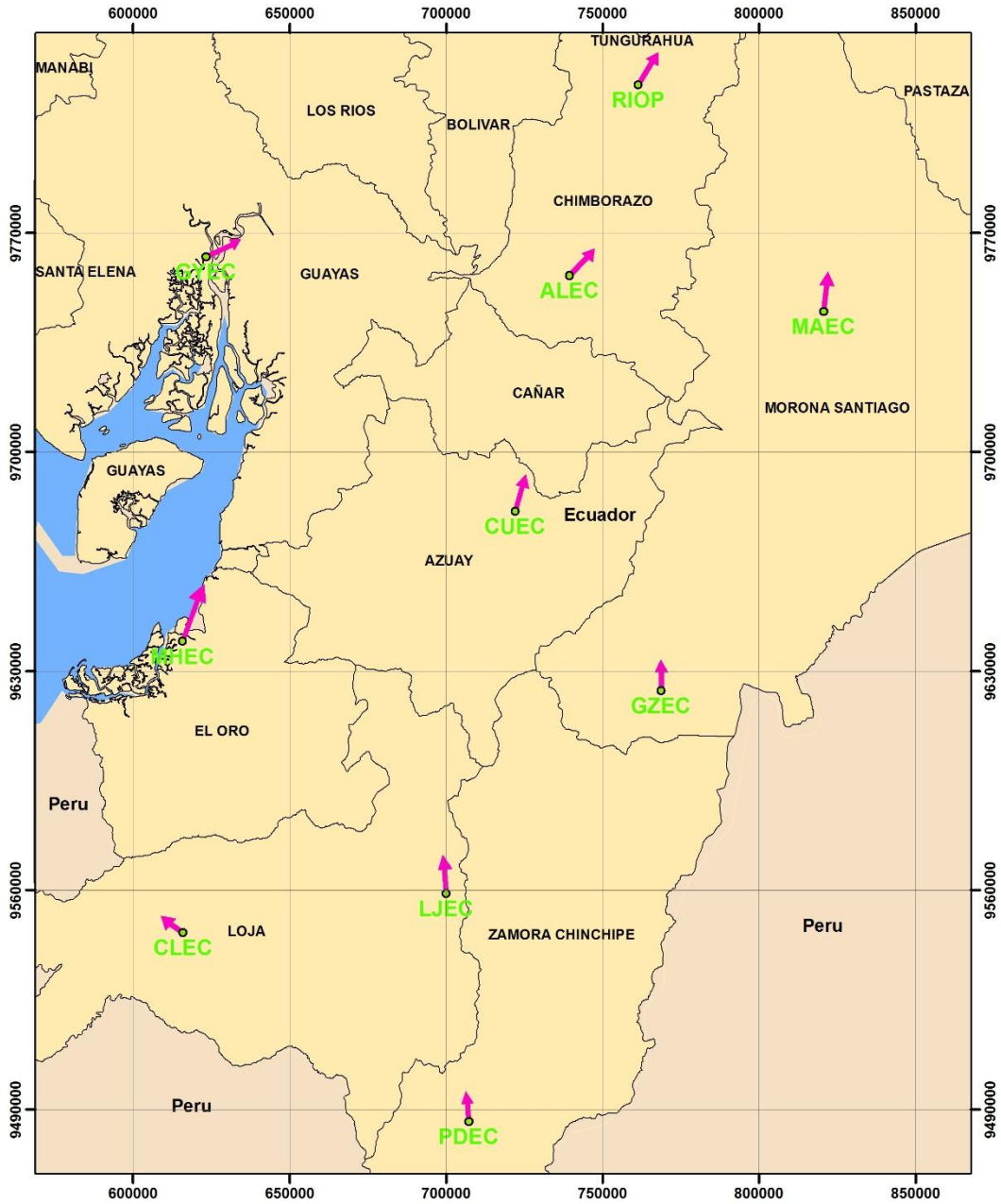
1:1,640,000

20 10 0 20 Kilometers

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS	
INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE	
TEMA: Estaciones REGME - ECUADOR	ESCALA: 1 : 1,640,000
INFORMACIÓN BASE: SIRGAS	ELABORADO POR: Martínez W. y Morillo A.

ANEXO 3

MAPA DE VELOCIDADES



LEYENDA

- ESTACIONES_REGME
- ➔ DIRECCION
- PROVINCIAS
- AMERICA

N

1:1,640,000

25 12.5 0 25 Kilometers

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS INGENIERÍA GEOGRÁFICA Y DEL MEDIO AMBIENTE	
TEMA: Mapa de Velocidades	ESCALA: 1:1,640,000
INFORMACIÓN BASE: SIRGAS	ELABORADO POR: Martínez W. y Morillo A.