

# **Técnica De Seudocampos Para La Gestión Del Riesgo En Los Municipios De Colombia**

**Angel Andres Forero Torres**

Universidad Distrital FJC, Bogotá, Colombia, aaft1988@gmail.com

**Miguel Antonio Ávila Angulo**

Universidad Distrital FJC, Bogotá, Colombia, maavila@udistrital.edu.co

## **RESUMEN**

En el marco de las leyes 388 de 1997 y 1523 de 2012 donde se hace un llamado a los gobernantes para llevar un control del riesgo, estructurando herramientas que permitan dicha gestión; las cuales buscan minimizar los daños causados por una catástrofe. El riesgo tiene muchos orígenes que causan un desastre, pero sin duda alguna el riesgo sísmico es el que tiene mayores pérdidas registradas desde 1979, donde surge la necesidad de gerenciar el riesgo como parte vital. Sin embargo, en algunos municipios del país con alto riesgo sísmico no han podido dar cumplimiento a este mandato por falta de recursos económicos. El propósito de la técnica empleando Seudocampos es permitir el estudio geofísico del suelo usando herramientas tecnológicas, las cuales tienen un grado de confiabilidad aceptable. De esta manera se puede identificar la estructura cortical de la zona y realizar un ajuste periódico con base en vectores de desplazamiento cinemáticos. Los Seudocampos pretenden tomar solo el campo de gravedad o el campo magnético y calcular el campo faltante. Teniendo un Seudocampo, se puede reducir los costos de las campañas de tomas de información y permitir un estudio donde se identifiquen las zonas críticas.

**Palabras clave:** Gestión del riesgo, Seudocampos, Seudogravedad, Seudomagnetismo.

## **ABSTRACT**

Under the Law 388 of 1997 and the law 1523 of 2012 which calls for the rulers of the territory to management the risk using tools politically structured; which seek minimize the damage caused for a catastrophe. The risk have many origins which cause a disaster, but the seismic risk is truly the most dangerous, because since 1979 caused too many dead, where born the need to control the risk because is vital for people. Though, in some places of the country, the municipalities with high seismic risk is hard comply with the law for low resources. The purpose of the technique with pseudo fields is allow the geophysics studies of ground using technological tools, which has good level of reliability. This way we can identify the crustal structure of zone, and with a periodic adjust using GPS kinematic vectors. The pseudo fields take just only one filed (gravity o magnetic) and estimate the field remaining. With pseudo fields, the cost of the campaigns is reduced and we can manage the risk developing geophysics studies which the result is identify critical zones, and calculate the potential human and material losses.

**Keywords:** management risk, Seudofield, Seudogravity, Seudomagnetism,

## 1. INTRODUCCIÓN

El municipio de Armenia en el departamento del Quindío se encuentra ubicado sobre un sistema de fallas llamado El Romeral. Debido a los antecedentes de la zona, con un evento significativo el cual ocurrió el 25 de Enero de 1999 el cual termino con cientos de vidas y con pérdidas materiales evaluadas en millones de dólares. Por eventos como estos surge la necesidad de llevar un control sobre el territorio, estructurando un marco normativo que ordena a los gobernantes proteger la comunidad y velar por su seguridad. A lo largo del territorio colombiano y especialmente sobre la costa del Pacifico se encuentra la zona con mayor riesgo sísmico, donde se debe llevar un seguimiento continuo de la corteza terrestre para minimizar los posibles daños que pudieren ocasionar eventos similares a los ocurridos en Armenia. En vista de dicha necesidad surge la propuesta de brindar una herramienta confiable para poder cumplir con la norma y gestionar el riesgo (sísmico) permitiendo desarrollar un estudio geofísico donde se identifique la estructura cortical de la zona arrojando zonas críticas, que permitirán un diagnostico general y sean soporte para toma de decisiones administrativas.

El objetivo de este artículo es proponer una técnica que busca reducir los costos en la adquisición de la información, pero que permitan desarrollar los estudios necesarios para el control del riesgo. Esta técnica emplea el pseudocampo cuyo fundamento matemático es la relación de Poisson, de igual manera se utiliza la FFT-2D, transformada rápida de Fourier en 2D (por sus siglas en Ingles), interpolación de datos y principios geodésicos. Al unir toda esta información por medio de programación y desarrollar una aplicación que sea de fácil uso y acceso, se pretende solucionar parcialmente la mencionada necesidad, con un alto grado de confiabilidad, usando como zona de estudio el municipio de Armenia.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1 SEUDOCAMPOS

Se denomina pseudocampo a la obtención de uno de los campos terrestres perteneciente a dos fuerzas fundamentales (gravedad y magnetismo). Debido a que los campos magnético y gravitatorio terrestres son representados geoméricamente por líneas de campo; estas se relacionan gracias al similar comportamiento físico y matemático de ambas fuerzas; Gracias a las similitudes entre estos campos, el físico y matemático Francés Simeón Poisson dedujo una relación matemática para obtener el potencial gravitacional con base en el potencial magnético, esta se conoce como relación de Poisson, dada de acuerdo con:

$$A(\vec{r}) = \vec{M} \bullet \nabla \left( \frac{V(\vec{r})}{K\rho} \right)$$

**Ecuación 1**

La metodología arroja como resultado, las relaciones en el dominio de la frecuencia dadas en la forma:

$$T_{x,y} = T_{jk} = \frac{1}{MN} \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=1}^n WT_{mn} \ell^{i.\vec{k}_{mn}.\vec{r}} \ell^{z.k_{mn}}$$

**Ecuación 2**

$$g_{x,y} = g_{jk} = \frac{1}{MN} \sum_{n=0}^{\infty} \sum_{m=1}^n Wg_{mn} \ell^{i.\vec{k}_{mn}.\vec{r}} \ell^{z.k_{mn}}$$

**Ecuación 3**

## 2.2 DATOS EMPLEADOS

Los datos de gravedad y magnetismo empleados en la primera fase del proyecto, fueron tomados en la campaña realizada en el año 2004 en Quindío, por la universidad del Quindío y la universidad Nacional de Colombia; La distribución de las estaciones gravimétricas fue cada 500m y en las zonas con estructuras geológicas de interés cada 100m. Los datos fueron adquiridos por vías principales y secundarias que comunican a los municipios de Armenia, Circasia, Montenegro, Calarcá y La Tebaida. Empleando el método de interpolación de mínima curvatura se generaron los mapas de gravedad y magnetismo, los datos colectados se muestran de manera gráfica en la figura 1.

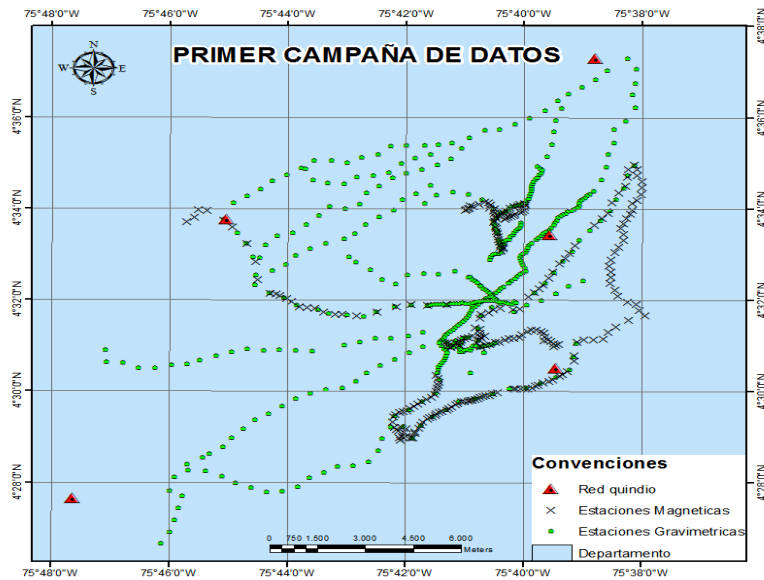


Figura 1: Ubicación General de las estaciones Campaña 2004. Elaboración propia.

Los datos crudos permiten visualizar la información que será procesada mediante los pseudocampos de acuerdo con las ecuaciones 2 y 3

## 3. OBTENCIÓN DE LOS SEUDOCAMPOS

En el trabajo se siguió un diagrama de flujo, donde se evidencian los procesos y resultados de cada paso. Este permite hacer un monitoreo de cada producto, donde se inicia con datos gravimétricos o magnéticos y se finaliza con un pseudocampo. El proceso mostrado en la figura 2 se aplica para convertir de datos de gravedad observada en pseudomagnetismo y viceversa. Las expresiones para el cálculo corresponden con

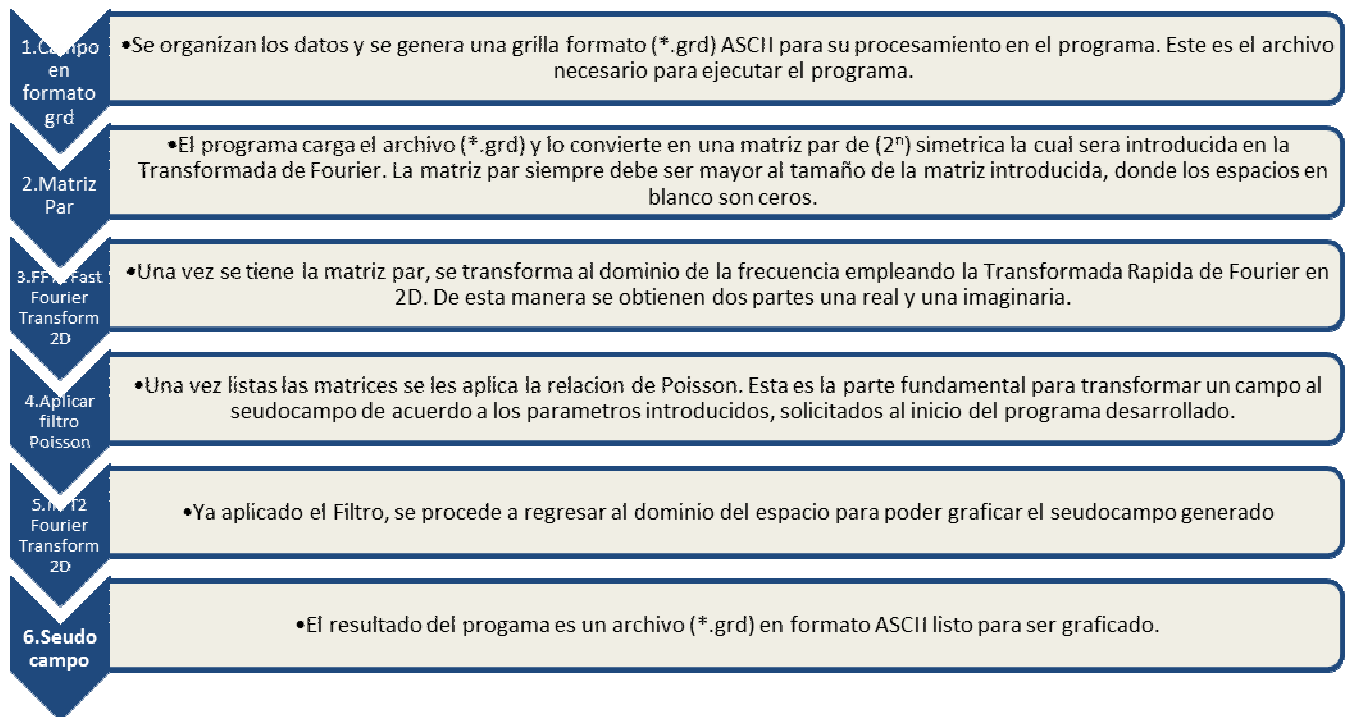
$$WT_{mn} = \frac{M}{K\rho} \left( \frac{\gamma}{\gamma_0} k_{mn} + i \left( \frac{\alpha}{\gamma_0} k_m + \frac{\beta}{\gamma_0} k_n \right) \right) Wg_{mn}$$

Ecuación 4

$$Wg_{mn} = \frac{K\rho}{M} \left( \frac{\gamma}{\gamma_0} k_{mn} + i \left( \frac{\alpha}{\gamma_0} k_m + \frac{\beta}{\gamma_0} k_n \right) \right)^{-1} WT_{mn}$$

Ecuación 5

En la rutina computacional del programa de pseudocampos solamente cambia la opción del filtro de Poisson, pero esto no altera el orden ni los productos de cada paso. Los pasos 2 al 6 los realiza el programa, el usuario solo debe encargarse del paso 1, sobre el cual se generaran y dependerán los resultados.



**Figura 2: Flujo del Proceso para los Seudocampos**

El anterior proceso se aplica a los datos expuestos en los numerales anteriores, finalmente se explicara el programa desarrollado el cual realiza todos estos procesos de manera interna.

### 3.1 DEL CAMPO DE MAGNÉTICO A SEUDOGRAVEDAD

Los datos tomados de la campaña realizada en el 2004, fueron interpolados usando el método Mínima Curvatura; donde se tienen las superficies de la figura 3, calculadas en el programa Surfer. Estos son los campos reales de gravedad y magnetismo, los cuales son introducidos en el software desarrollado para el proyecto, en formato Grid File. Sin embargo, es necesario llevar a la misma escala ambas imágenes; puesto que el área en común no es la totalidad (esto se debe a la distribución de las estaciones) para poder visualizar mejor los resultados.

Con base en la latitud y longitud se cortaron las grillas de magnetismo y pseudomagnetismo arrojando los resultados, que fueron procesados en el programa desarrollado. El procesamiento expuesto en el diagrama de flujo (figura 2) será aplicado mostrando los pasos principales, Al aplicar el filtro de la relación de Poisson se obtiene una componente imaginaria que no es graficada. Adicionalmente, es necesario aclarar que a pesar tener datos de gravedad estos no han sido procesados para ser introducidos en el programa, ya que el objetivo del software es calcular un pseudocampo con base en los datos observados que corresponden al campo sin alterar sus valores.

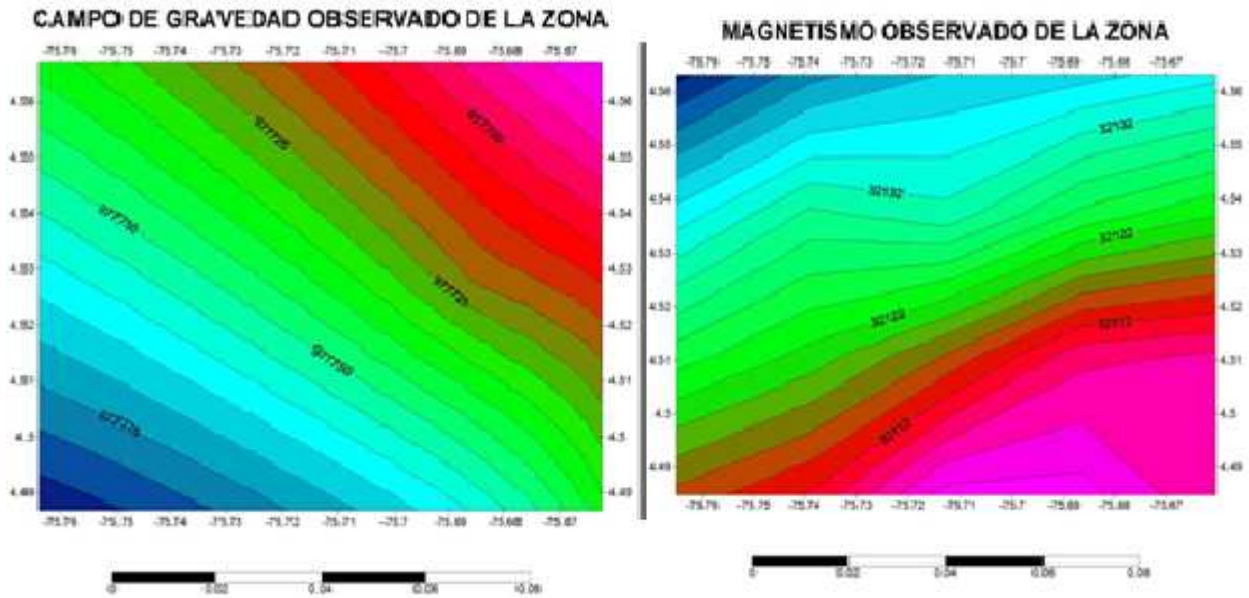


Figura 3: a) Campo de gravedad real GRD 2004 b) Campo magnético real GRD 2004

El primer pseudocampo a calcular es el de gravedad, por lo que se debe tomar el campo de magnetismo e introducirlo en el programa, donde seguirá el diagrama de flujo (figura 2) para calcularlo. De esta manera se convierte el campo de gravedad, del dominio del espacio al dominio de la frecuencia empleando la transformada rápida de Fourier (FFT-2D), El resultado se muestra la figura 4.

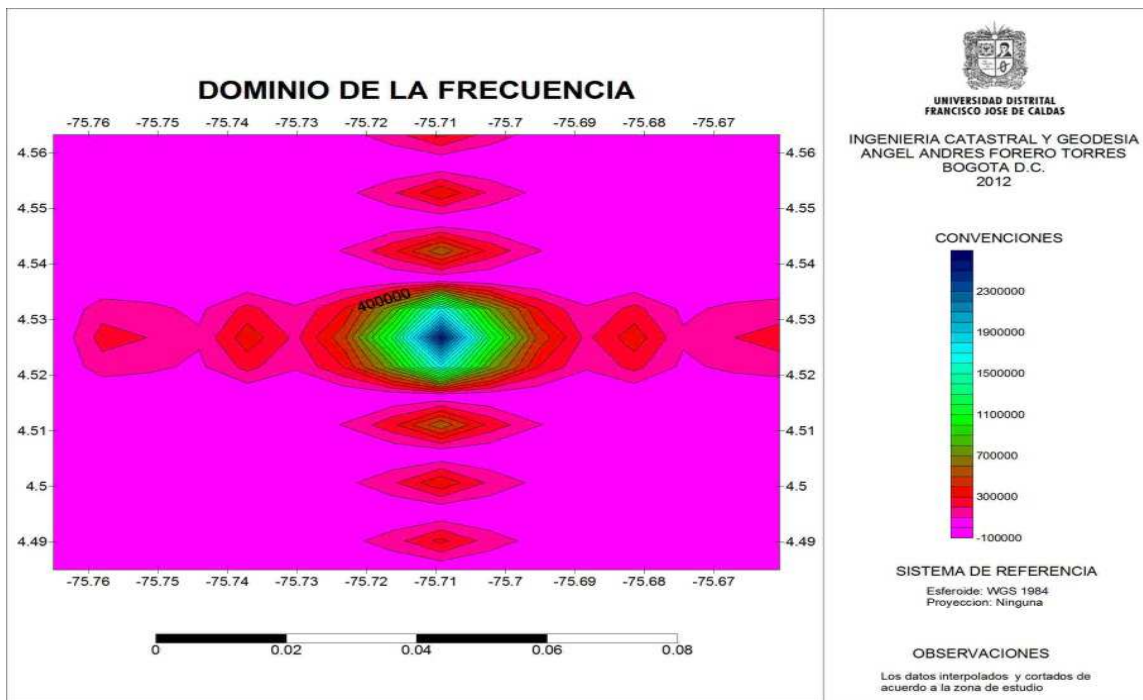


Figura 4: Campo Magnético en el dominio de la frecuencia

Al campo magnético convertido en el dominio de la frecuencia, se le aplica el filtro de Poisson desarrollado en el proyecto de grado de Ingeniería Catastral y Geodesia (Ávila Angulo, 2001). El cual fue programado para el desarrollo del trabajo. La demostración matemática de dicho filtro se encuentra en el documento citado. Finalmente terminado el filtrado de Poisson se realiza una transformada inversa de Fourier- 2D (iFFT2) para obtener el seudocampo magnético.

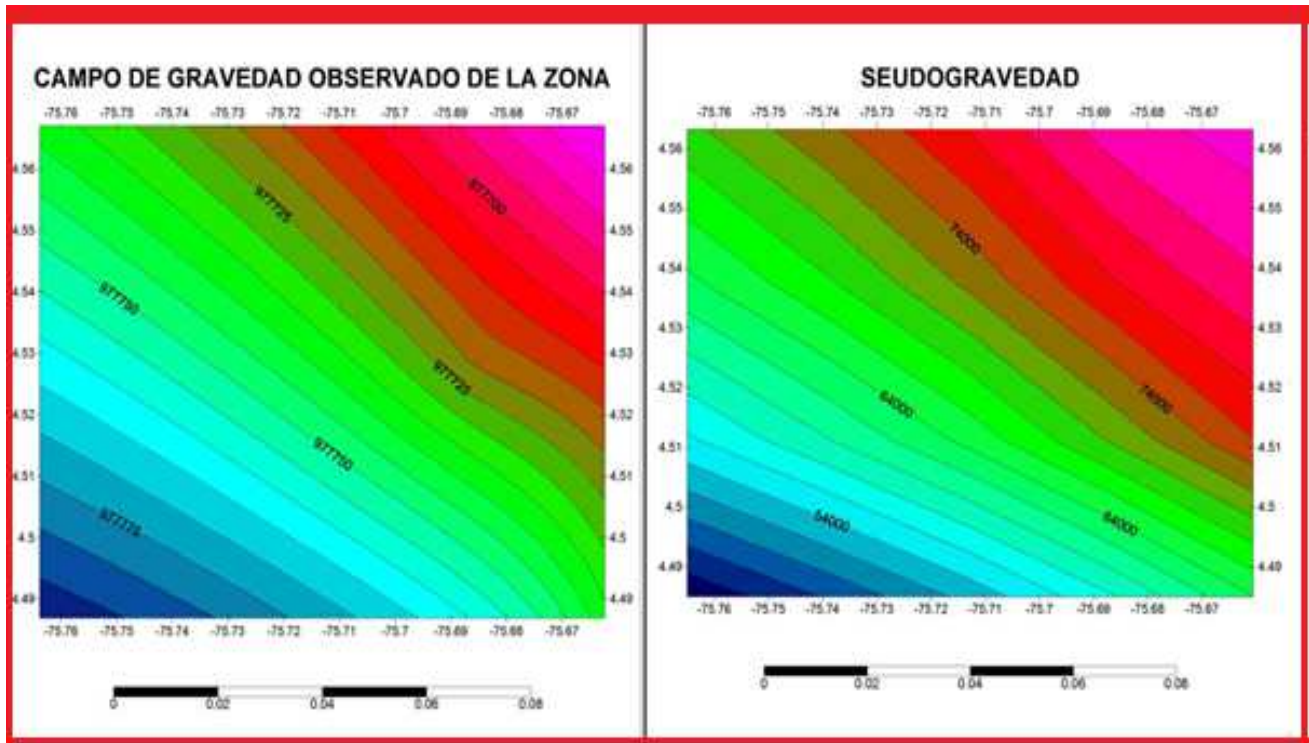
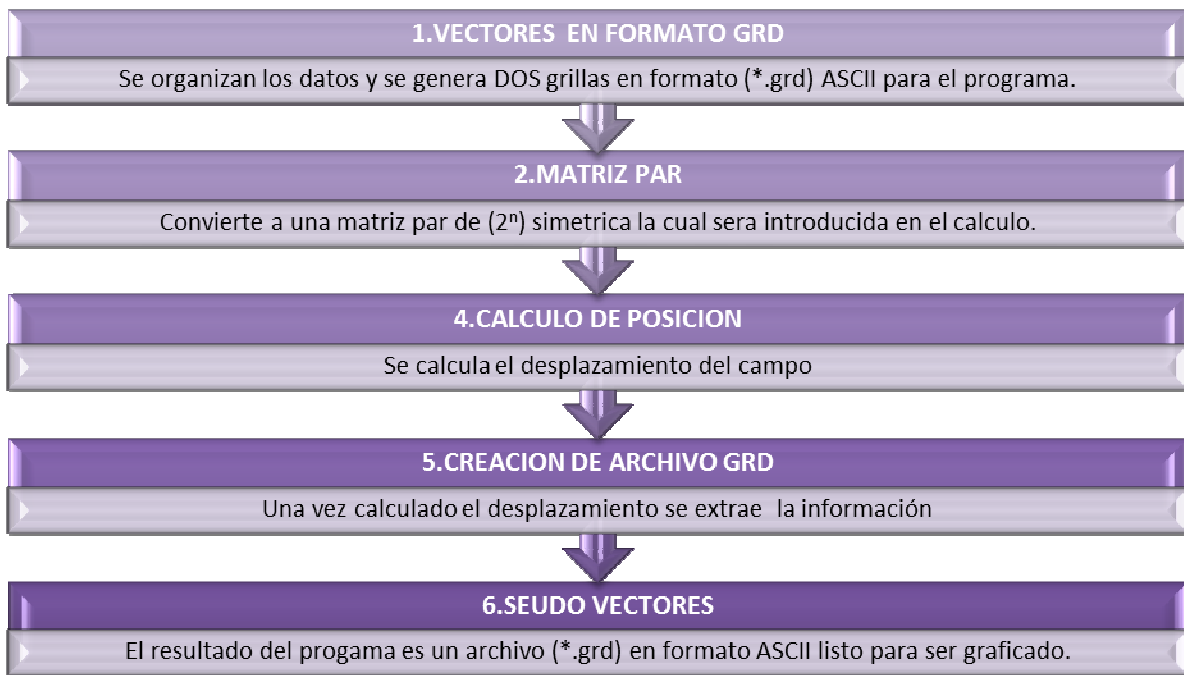


Figura 5: a) Campo de gravedad cortado b) Seudogravedad cortada

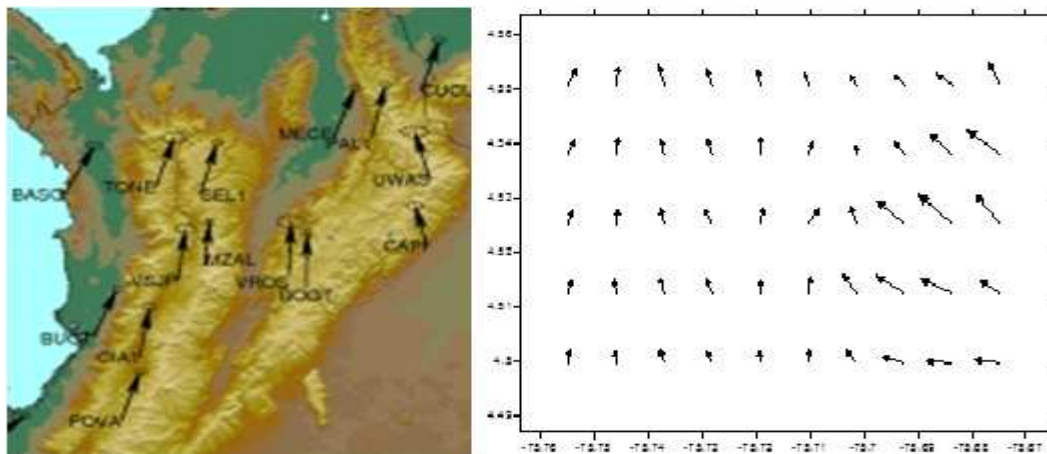
#### 4. VECTORES CINEMÁTICOS

En este proceso se determinan los vectores de dos series temporales, una presentadas anteriormente, y otra correspondiente a datos adquiridos por la Agencia Nacional de Hidrocarburos ANH; para verificar la coherencia entre el desplazamiento de los vectores cinemáticos y los seudovectores cinemáticos, correspondiente a los desplazamientos de los campos.



**Figura 6: Metodología para obtener los seudo vectores**

Se desarrolla una rutina computacional en Matlab donde se toman los seudocampos obtenidos y se calculan los vectores mostrados en la figura 7. Estos son comparados con los vectores oficiales tomados en las estaciones permanentes del proyecto GEORED, perteneciente al instituto de minas Ingeominas. Las velocidades están expresadas en virtud del marco internacional de referencia terrestre (ITRF2005), tomada de la página oficial. En ella se muestra la dirección del desplazamiento de las placas tectónicas que se ven involucradas en la zona de estudio a un nivel macro.



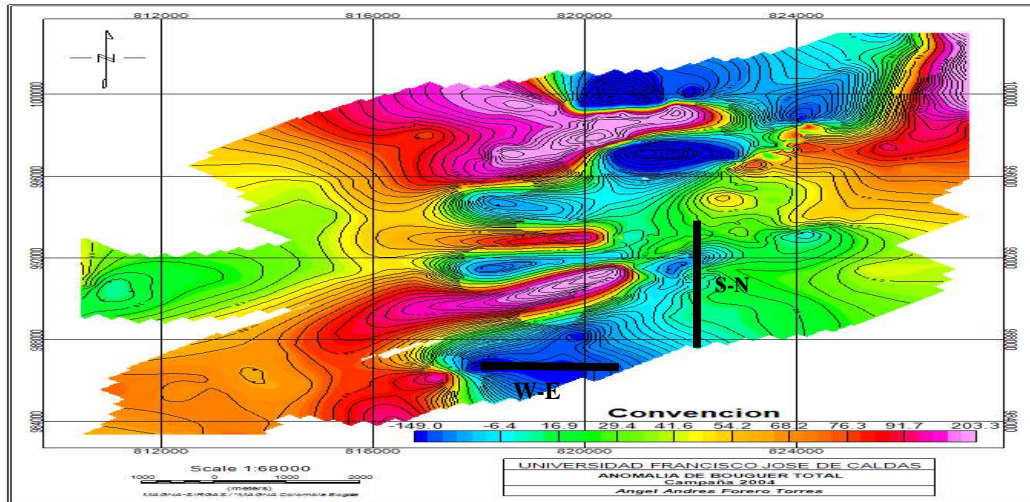
**Figura 7: Estaciones continuas de Ingeominas, seudovectores. (Elaboración Propia)**

## 5. MODELADO GEOFISICO

El modelo geofísico de la zona de estudio se obtuvo con base en los datos capturados y procesados, luego se calcula la anomalía gravimétrica de Bouguer. El procesamiento se desarrolla en el programa Oasis Montaj cuyo resultado se muestra en la Figura 8. Para el modelado geofísico se toman los perfiles señalados en la gráfica con la

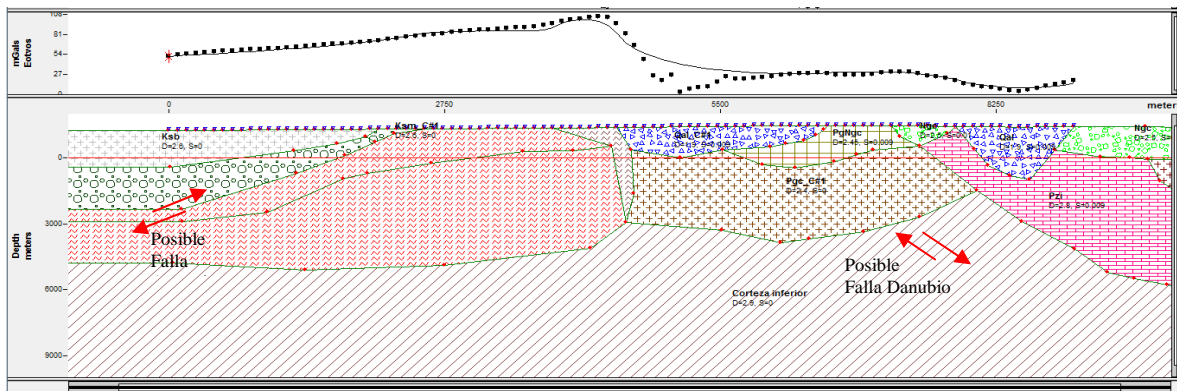


respectiva orientación Oeste – Este (W-E) y en sentido Sur – Norte (S-N). Correspondientes a la zona y con la información adquirida y compilada se inicia una creación de bloques con diferentes densidades correspondientes a las rocas de la región. Se puede observar un cambio de densidad drástico en el perfil W-E, y se mantiene constante a lo largo de eje Norte Sur, lo que indica que las fallas tienen sentido Norte - Sur dividiendo la zona en dos regiones generalizadas. A continuación se presentan los modelos geofísicos obtenidos para determinar una aproximación de la estructura cortical de la zona objeto de estudio. Se visualizan dos estructuras muy marcadas las cuales se indican en las figuras 9 y 10.



**Figura 8: Anomalia de Bouguer Total 2004**

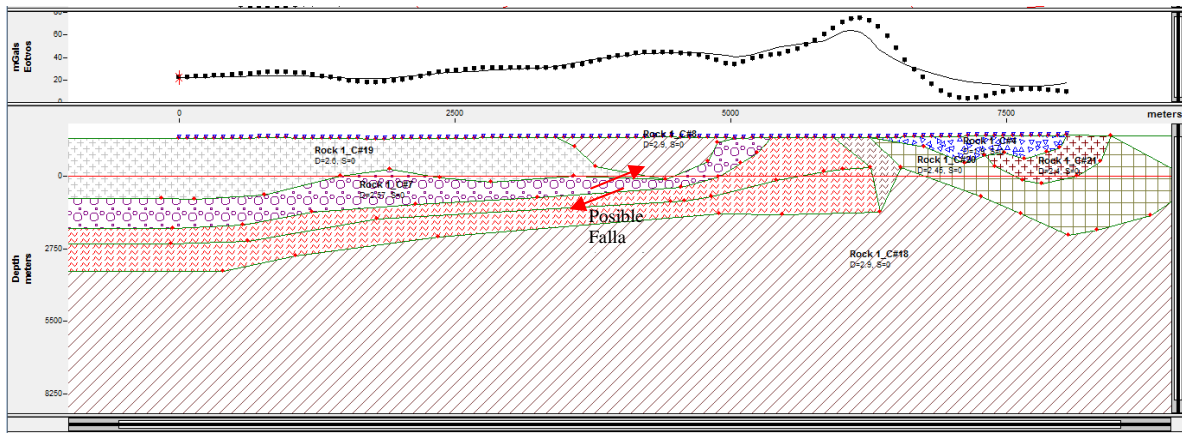
En este modelado se tienen picos que muestran un cambio drástico de densidad, que en principio es evidencia de una discontinuidad en la densidad, que por los antecedentes de la zona se relacionan con fallas tectónicas. Si se observa la ubicación de los perfiles en la figura 9 y se comparan junto con los modelos calculados, se puede ver la continuidad y dirección que toma la falla Armenia.



**Figura 9: Modelado perfil W-E. Fuente: Elaboración propia**

En la figura 10 se ve el desplazamiento o el buzamiento de la falla en dirección Noreste, y una homogeneidad en la densidad hacia el costado oeste. De igual manera se resalta la zona que da continuidad a la falla el Armenia, la cual según estudios posteriores y documentos oficiales del INGEOMINAS tiene esta dirección.

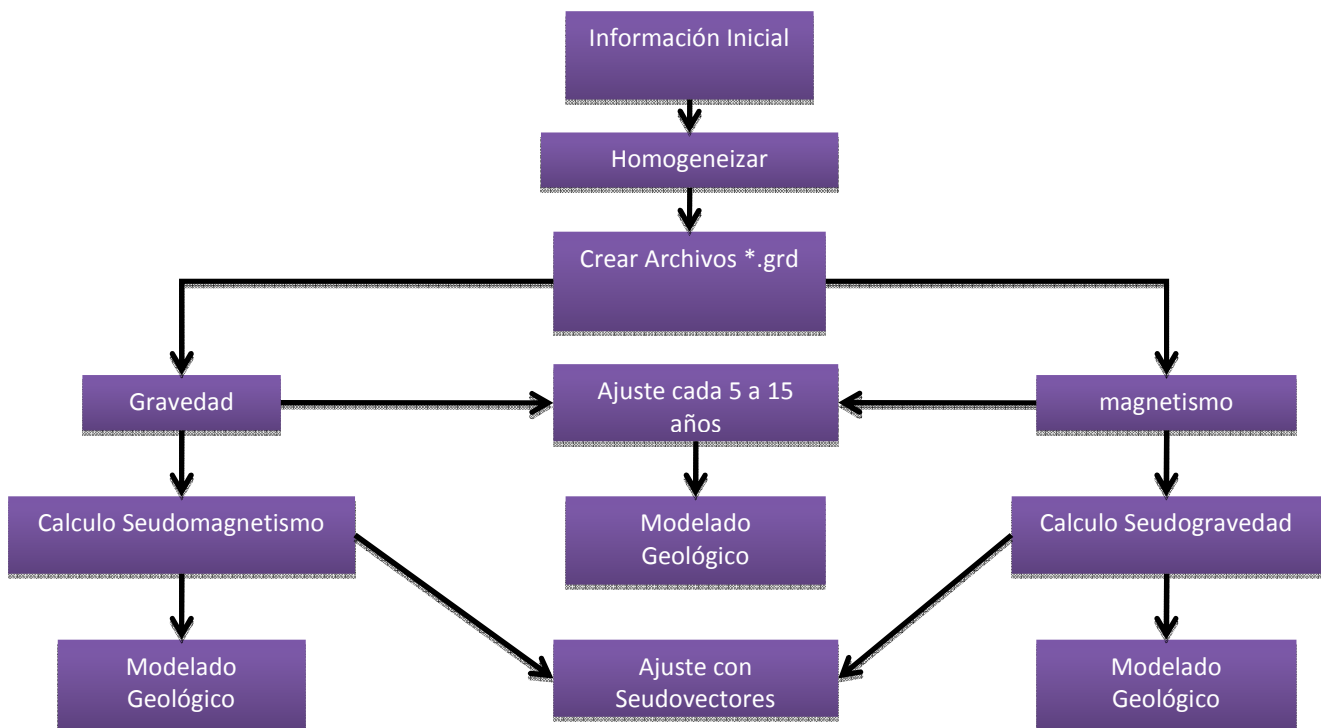




**Figura 10: Modelado perfil S-N Fuente (Elaboración propia)**

## 6. TÉCNICA PROPUESTA

Una vez presentados los procesos y resultados siendo evaluados con datos reales, se evidencia de manera cualitativa que se tiene un grado de confiabilidad aceptable en cada procedimiento realizado. Cada uno de estos pasos hace parte de un ciclo mayor el cual busca atender la necesidad expuesta anteriormente. Al valorar cada producto final y su aplicabilidad, se fundamenta una base para la aplicación de la técnica. Sin embargo, es necesario estructurar adecuadamente todos los procesos para mejorar su confiabilidad, la figura 12 presenta la técnica propuesta. En un nivel macro, la técnica tiene tres fases: 1) de formación, donde se genera una campaña robusta para la adquisición estructurada de la información. 2) de conservación: aquí se ajustan los campos con base en la información GNSS suministrada, la cual tiene una alta correlación con la variación de los campos. 3) de actualización: esta constituye una nueva toma masiva de información debido a eventos atípicos con cambios bruscos o por un ajuste periódico, el cual puede oscilar entre 5 – 15 años dependiendo el grado de riesgo de la zona.



**Figura 12: Diagrama de flujo de procesos de la técnica propuesta**

11<sup>th</sup> Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology

## 7. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

El principal producto que engloba la mayor parte del proceso y que aporta económicamente y funcionalmente es el programa desarrollado. Debido a que la intensidad del software programado, es que sea empleado como recurso mínimo para la gestión del riesgo que es una obligación de todos los gobernadores, alcaldes, ministros, presidente de la república. El hecho minimizaría a la mitad la inversión, facilitaría un estudio geofísico de primer nivel (grado de exactitud bajo) pero útil en la gestión del riesgo, para implementarlo en la mayor parte del país y ajustarlo en cortos periodos de tiempo en los restantes. De esta manera, se evitan tomas de información gravimétrica y magnética en corto plazo, que son muy costosas, sin sumar todo lo necesario para hacerlo.

En cuanto al procesamiento de los datos se evidencia en el mismo, que la coherencia de los vectores de velocidad y desplazamiento de las placas, dados por las estaciones GPS permanentes del país, y los pseudo vectores están altamente ligados. Esta afirmación es soportada bajo los principios del Paleomagnetismo que afirman la fijación de los valores “geofísicos” durante el proceso de solidificación de las rocas. En la Figura 7 se puede observar como la tendencia de los vectores es la misma; es necesario aclarar que a pesar de ser escalas diferentes, el campo tiene variaciones tan leves y largas zonas que permite hacer estas comparaciones.

Sobre la herramienta y los procesos que realiza, tales como la aplicación de los filtros de pseudocampos tienen un grado de confiabilidad bueno el cual varía de acuerdo a los parámetros iniciales que solicita el programa, puesto que afectan la calidad del pseudocampo, tal y como sucedió con el pseudocampo de magnetismo de la campaña final desarrollada en el Numeral 3.1. Sin embargo se ve el grado de confiabilidad en el cálculo del primer pseudocampo.

## 8. REFERENCIAS

- Avila, M., Salamanca, J., Plazas, L. (2012). Calculo de los mapas pseudo gravimetrico y pseudomagnetico en la zona N-W del mar Caribe Colombiano. Editorial academica española.
- Vargas, C., & Monsalve, H. (2011). The Abanico del Quindio Alluvial Fan, Armenia, Colombia: Active tectonics and earthquake hazard. *Journal of South American Earth Sciences*, pp. 64-73
- Ingeomina S. (2010). Informe Tecnico – Cientifico terremoto del Quindio.
- Maya, M., & Gonzalez, H. (2010). Unidades Litodermicas de la Cordillera Central de Colombia. Bogota: Ingeominas
- Universidad Nacional de Colombia; Universidad del Quindio. (2011). Modelado Geofisico y Estructural del casco Urbano de Armenia y sus Alrededores. Bogotá
- Cortes O, J. A., Medina A, F. A., & Chaves O, J. A. (2010). Del Analisis de Fourier a las Wavelets Analidad de Fourier. *Scientia Et Technica*, 151-156.
- Perez Caro, A. S. (2010). Integracion de datos Aeromagneticos con registros de susceptibilidad magnetica (En muestras someras de pozos) en el Campo la Victoria. Sartenejas.
- Menke, W. (2009). *Geophysical Data Analysis: Discrete Inverse Theory*. San Diego.
- Weikko, H., & Helmut, M. (1966). *Geodesia Fisica*. San Francisco.

### ***Authorization and Disclaimer***

*Authors authorize LACCEI to publish the paper in the conference proceedings. Neither LACCEI nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.*