CREACIÓN DE APLICATIVO PARA LA REDUCCIÓN DE DATOS DE GRAVIMETRÍA Y MAGNETOMETRÍA TERRESTRE

AUTOR:

JHON ALEXANDER GALINDO AMBUILA



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CATASTRAL Y GEODESIA
Bogotá D.C.
2017

CREACIÓN DE APLICATIVO PARA LA REDUCCIÓN DE DATOS DE GRAVIMETRÍA Y MAGNETOMETRÍA TERRESTRE

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO POR:

JHON ALEXANDER GALINDO AMBUILA

PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO CATASTRAL Y GEODESTA

Director Interno: **Carlos Germán Ramirez Ramos**
Docente de tiempo completo del proyecto curricular de Ingeniería Catastral y Geodesia
Ingeniero Geógrafo

Director Externo: **Claudia Maria Alfaro Valero**
Coordinadora del Grupo de Trabajo *Exploración de Recursos Geotérmicos* del Servicio Geológico Colombiano
Química Especialista en Geotermia



UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CATASTRAL Y GEODESIA
Bogotá D.C.
2017

Tabla de contenido

1 Objetivos **2**
1.1 Objetivo General . . . 2
1.2 Objetivos Específicos . . . 2

2 Planteamiento del Problema **3**

3 Justificación **4**

4 Marco Teórico **5**
4.1 Algoritmo . . . 5
4.2 Python . . . 5
4.3 Gravimetría . . . 5
4.4 Gravedad . . . 6
4.4.1 Reducciones de gravedad . . . 7
4.4.1.1 Corrección por latitud . . . 7
4.4.1.2 Corrección aire libre . . . 7
4.4.1.3 Corrección Bouguer . . . 7
4.4.1.4 Densidad de Reducción . . . 8
4.4.1.5 Corrección por mareas . . . 8
4.4.1.6 Corrección de terreno . . . 8
4.5 Método de Nettleton . . . 9
4.6 Método de Jung . . . 9
4.6.1 Anomalía Gravimétrica . . . 9
4.6.1.1 Anomalía Total de Bouguer (ABT) . . . 9
4.6.2 Campo Geomagnético de la Tierra . . . 11
4.6.3 Campo Geomagnético Internacional de referencia (IGRF) . . . 11
4.6.4 Variaciones del campo magnético . . . 11
4.6.4.1 Corrección por variación diurna . . . 12
4.6.4.2 Corrección por variación secular . . . 12

5 Metodología del proyecto **14**

6 Fases de ejecución del proyecto **15**
6.1 Fase 1. Análisis de la información suministrada por el Grupo de Trabajo Exploración de recursos Geotérmicos del Servicio Geológico Colombiano. . . . 15
6.1.1 Lenguaje de Programación Python . . . 15
6.1.2 Gravimetría . . . 15
6.1.3 Magnetometría . . . 16
6.2 Fase 2. Organización de los diferentes algoritmos generados a partir del software GNU octave y Visual Basic. . . . 17
6.2.1 Gravimetría . . . 17
6.2.1.1 mapa_matriz.m . . . 17
6.2.1.2 minimizador.m . . . 17

6.2.1.3 Separador.m . . . 17
6.2.1.4 Red_Gravimetria_Deriva.m . . . 18
6.2.1.5 Secular_grav.m . . . 18
6.2.1.6 Grav_teorica.m . . . 18
6.2.1.7 Nettleton_General.m . . . 18
6.2.1.8 Bouguer_Density.m . . . 18
6.2.1.9 Bouguer_corr.m . . . 18
6.2.1.10 Grav_teorica_Correccion_Bouguer.m . . . 18
6.2.2 Magnetometría . . . 18
6.2.2.1 Generador_Magnetogramas.m . . . 19
6.2.2.2 Graf_Interp_Magnetometria_sel.m . . . 19
6.2.2.3 Magnetograma.m . . . 19
6.2.2.4 Magnetograma_Comparado.m . . . 19
6.2.2.5 Mapa_Bases2.m . . . 19
6.2.2.6 mapa_matriz.m . . . 19
6.2.2.7 min_cuad.m . . . 20
6.2.2.8 reader_coeff.m . . . 20
6.2.2.9 Ventana_seleccion.m . . . 20
6.3 Fase 3. Identificación y recolección de información que cumpla con las diferentes necesidades a satisfacer en los aplicativos. . . . 20
6.4 Fase 4. Generación de algoritmos base, los cuales permitan estructurar el programa. . . . 22
6.4.1 Abrir archivos .CSV . . . 22
6.4.2 Exportar archivos .CSV . . . 22
6.4.3 Transformar archivos .CSV a Matriz . . . 23
6.4.4 Transformar archivos .CSV a .XLS . . . 23
6.4.5 Transformar archivos .XLS a .CSV . . . 23
6.5 Fase 5. Construcción de los diferentes aplicativos para el cargue y manipulación de la información gravimétrica y magnética. . . . 24
6.5.1 Corrección de relajación . . . 24
6.5.2 Cálculo Deriva . . . 25
6.5.3 Correcciones . . . 26
6.5.4 Magnetogramas . . . 27
6.5.5 Csv2excel . . . 28
6.5.6 Excel2csv . . . 28
6.6 Fase 6. Evaluación y pruebas. . . . 29
6.7 Fase 7. Elaboración de manuales o guías de usuario para cada una de las aplicaciones desarrolladas. . . . 29

7 Descripción de los productos obtenidos 31
7.1 Configuración inicial . . . 31
7.2 Corrección de relajación . . . 33
7.2.1 Procedimiento de ejecución . . . 34
7.3 Cálculo Deriva . . . 35
7.3.1 Procedimiento de ejecución . . . 36
7.4 Correcciones . . . 37

7.4.1 Procedimiento de ejecución 38
7.5 Magnetogramas 39
7.5.1 Procedimiento de ejecución 40
7.6 Csv2excel 42
7.6.1 Procedimiento de ejecución 42
7.7 Excel2csv 42
7.7.1 Procedimiento de ejecución 42

8 Conclusiones **43**

9 Recomendaciones **44**

10 Anexos **45**
10.1 Manual 45

Lista de Figuras

1 Mapa Gravimetrico de Colombia 6
2 Anomalías Bouguer total de Colombia 10
3 Intensidad del campo geomagnético Total 11
4 Red de anomalías magnéticas terrestres 12
5 Esquema de procesos para la elaboración de los aplicativos de gravimétricos y magnéticos 14
6 Módulo Corrección de relajación 24
7 Módulo Cálculo Deriva 25
8 Módulo Correciones 26
9 Módulo Magnetogramas 28
10 Módulo Transformaciones 29
11 Icono instalador 31
12 Icono Aplicativo 31
13 Directorio de Trabajo 32
14 Menú principal aplicativo 32
15 Menú Gravimetría 33
16 Niveles de carga de archivos 33
17 Menú inicial del módulo corrección de relajación 34
18 Menú Final del módulo corrección de relajación 35
19 Menú inicial del módulo Cálculo deriva 36
20 Menú Final del módulo Cálculo deriva 37
21 Menú inicial del módulo Correcciones 38
22 Menú Final del módulo Correcciones 39
23 Menú inicial del módulo Magnetogramas 40
24 Menú Final del módulo Magnetogramas 41

Resumen

El procesamiento de datos gravimétricos y magnéticos ha sido identificado como una de las necesidades crecientes dentro del *Grupo de Trabajo Exploración de recursos Geotérmicos del Servicio Geológico Colombiano (SGC)*. Dentro de esta se incluye la utilización de altos volúmenes de datos y de la necesidad de la implementación de herramientas computacionales para la aplicación de las diferentes correcciones que requieren los datos de tipo gravimétrico y magnético, y a su vez para la generación de las diferentes interpolaciones que llevan a la interpretación de los datos y el análisis del procesamiento realizado.

Este trabajo presenta un conjunto conceptos teóricos aplicados a las diferentes herramientas desarrolladas sobre el código Python, que tienen como objetivo la ejecución los algoritmos de gravedad observada, densidad de reducción y de magnetogramas para cumplir con los estándares de procesamiento impuestos, y a su vez mejorar la velocidad y precisión de ejecución de los diferentes algoritmos desarrollados.

Para alcanzar este objetivo se brinda una descripción clara de la forma en la que se ejecutan los diferentes módulos del programa desarrollado, los cuales son: el módulo de Corrección de relajación que nos permitirá organizar los datos obtenido a partir de la magnetometría en un rango establecido de datos, el módulo de cálculo de deriva que nos brinda la posibilidad de limpiar los datos erróneos para llegar a un error de cierre óptimo para el procesamiento, el módulo de correcciones que brinda la posibilidad de aplicar las diferentes correcciones necesarias para la gravimetría y obtener la interpolación de los datos, el módulo de magnetogramas dentro del cual se puede visualizar los diferentes magnetogramas y aplicar las correcciones necesarias sobre los mismos, y por último los módulos de transformación de datos que permiten llevar un archivo de formato csv a Excel y viceversa.

1. Objetivos

1.1. Objetivo General

Generar aplicativo para la ejecución los algoritmos de gravedad observada, densidad de reducción y de magnetogramas para la Dirección Técnica de Geociencias Básicas - Grupo de Trabajo *Exploración de recursos Geotérmicos* del Servicio Geológico Colombiano (SGC), partiendo del análisis y organización de diferentes algoritmos de cargue y procesamiento de datos gravimétricos y magnéticos.

1.2. Objetivos Específicos

- Ordenar los algoritmos de cargue de información gravimétrica y magnética asi como la información suministrada por el Servicio Geológico Colombiano (SGC), indispensable para el desarrollo de las diferentes aplicaciones.

- Realizar el control de calidad sobre los diferentes aplicativos generados.

- Implementar la visualización de los datos haciendo uso de gráficos y tablas sobre los diferentes aplicativos para la Dirección Técnica de Geociencias Básicas - Grupo de Trabajo *Exploración de recursos Geotérmicos* del Servicio Geológico Colombiano (SGC).

- Identificar la importancia de la automatización de los diferentes procesos existentes para el cargue de información gravimétrica y magnética, a partir de la implementación de aplicativos en Python.

- Elaborar borradores de manuales o guías de usuario de cada uno de los aplicativos desarrollados.
- Comprender la importancia de la estandarización de los datos y estos en qué medida aportan al desarrollo de las diferentes metodologías.

2. Planteamiento del Problema

La Dirección Técnica de Geociencias Básicas - Grupo de Trabajo Exploración de recursos Geotérmicos del Servicio Geológico Colombiano (SGC) cuenta con una gran cantidad de información relacionada con gravimetría y magnetometría, que ha recopilado en los últimos años, la cual necesita de personas calificadas y el desarrollo de diferentes algoritmos para aprovechar dicha información al máximo.

No obstante, toda esta información que ha sido generada y almacenada de manera continua, no ha podido ser aprovechada en su totalidad debido principalmente a la falta de desarrollo de aplicativos que logren integrar la información y a su vez apliquen los diferentes conceptos teóricos y prácticos para la correcta manipulación de la gravedad observada, la densidad de reducción y los magnetogramas.

Debido a que la correcta utilización de esta información es importante para la Dirección Técnica de Geociencias Básicas - Grupo de Trabajo Exploración de recursos Geotérmicos del Servicio Geológico Colombiano (SGC), se consideró necesario el desarrollo de un proyecto que organice los diferentes algoritmos de cargue de información gravimétrica y magnética, en donde se generen aplicativos para ejecutar los diferentes algoritmos de gravedad observada, densidad de reducción y magnetogramas como a su vez la generación de los respectivos manuales de dichos aplicativos.

3. Justificación

El Servicio Geológico Colombiano tiene por objetivo contribuir al desarrollo económico y social del país, a través de la investigación en geociencias básicas y aplicadas del subsuelo, el potencial de sus recursos, la evaluación y monitoreo de amenazas de origen geológico, la gestión integral del conocimiento geocientífico, la investigación y el control nuclear y radiactivo, atendiendo las prioridades de las políticas del Gobierno Nacional. [SGC, 2017a]

El Servicio Geológico Colombiano (SGC) cuenta con diferentes grupos de trabajo que tienen como objetivo la correcta utilización de los recursos naturales que brinda el país, dentro de estos grupos de trabajo se encuentran el Grupo de Trabajo de Exploración de Aguas Subterráneas, el Grupo de Trabajo Investigación y Exploración de Recursos Minerales Metálicos, el Grupo de Trabajo Investigación y Exploración de Recursos Minerales no Metálicos e Industriales, la investigación y Exploración de Recursos Minerales Energéticos, el Grupo de Trabajo Exploración de Recursos Geotérmicos, entre otros. [SGC, 2017b]

Por esta razón el Grupo de Trabajo Exploración de Recursos Geotérmicos del Servicio Geológico Colombiano (SGC) ha encontrado la creciente necesidad de dar una correcta utilización a los gases y aguas subterráneas que permiten la generación de Bombas de calor Geotérmicas, Secado de textiles, Procesado de alimentos, Calefacción de edificios, Plantas binarias de energía Geotérmica, Producción de hidrógeno entre otros. Razón por la cual se vio en la necesidad de la vinculación de un pasante de Ingeniería Catastral y Geodesia con conocimientos en las áreas de programación y geofísica que pueda apoyar al el Grupo de Trabajo Exploración de Recursos Geotérmicos en el ordenamiento de algoritmos y generación de aplicativos digitales para el cargue y procesamiento de datos gravimétricos y magnéticos, los cuales permitirán desarrollar los diferentes objetivos propuestos por el Grupo de Trabajo Exploración de Recursos Geotérmicos.

4. Marco Teórico

A lo largo de este capítulo se proporcionará una breve descripción de los diferentes conceptos base para la generación de aplicativos, como también se verán conceptos asociados a la obtención y generación de datos gravimétricos y geomagnéticos que tienen como objetivo apoyar la parte conceptual de los diferentes aplicativos a realizar para el Grupo de Trabajo *Exploración de recursos Geotérmicos* del Servicio Geológico Colombiano (SGC).

4.1. Algoritmo

Informalmente, un algoritmo es cualquier procedimiento computacional bien definido que toma algún valor o conjunto de valores como entrada y produce algún valor o conjunto de valores como salida. Por lo tanto, un algoritmo es una secuencia de pasos computacionales que transforman la entrada en la salida.

También podemos ver un algoritmo como una herramienta para resolver un problema computacional bien especificado. La declaración del problema especifica en términos generales la relación de entrada / salida deseada. El algoritmo describe un procedimiento computacional específico para lograr esa relación de entrada / salida. [Cormen et al., 2001]

4.2. Python

Python es un lenguaje de programación poderoso y fácil de aprender. Cuenta con estructuras de datos eficientes y de alto nivel y un enfoque simple pero efectivo a la programación orientada a objetos. La elegante sintaxis de Python y su tipado dinámico, junto con su naturaleza interpretada, hacen de éste un lenguaje ideal para scripting y desarrollo rápido de aplicaciones en diversas áreas y sobre la mayoría de las plataformas.

El intérprete de Python puede extenderse fácilmente con nuevas funcionalidades y tipos de datos implementados en C o C++ (u otros lenguajes accesibles desde C). Python también puede usarse como un lenguaje de extensiones para aplicaciones personalizables.
[Foundation, 2017]

4.3. Gravimetría

La medición del campo de gravedad y la determinación del campo escalar a través del potencial gravitacional se estudian en dos ciencias de la Tierra: geodesia y geofísica, las cuales tienen propósitos complementarios frente al estudio de la gravimetría. La determinación precisa de las dimensiones de la Tierra (a través de sus parámetros geométicos y físicos) es el principal objetivos de estudio de la geodesia, mientras que su descripción es el objetivo principal de la *Gravimetría*. El interés de su estudio en la geofísica es obtener informacíon sobre la densidad y sus variaciones en el interior

de la Tierra, mientras que en la geodesia el estudio de la gravedad permite efinir el geoide. [Andres C, 2014]

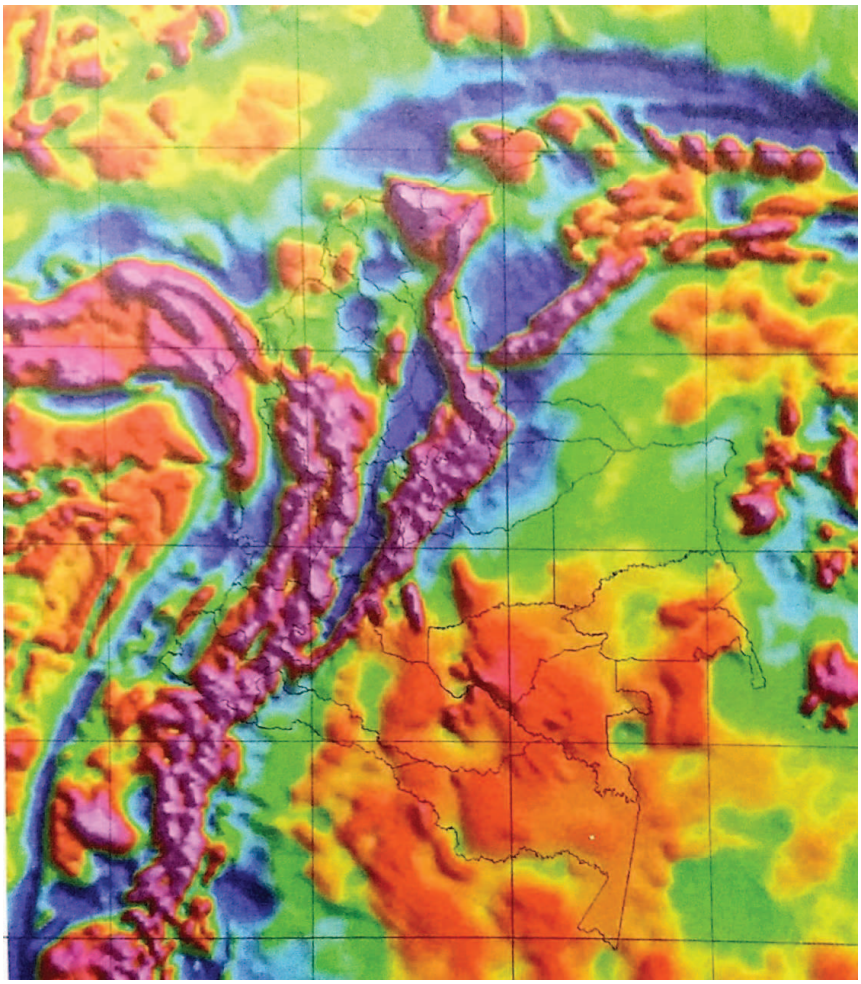


Figura 1: Mapa Gravimetrico de Colombia

tomado de: [Andres C, 2014]

4.4. Gravedad

La magnitud de la gravedad depende de seis factores: Altura elipsoidad (h), latitud (φ), variaciones de la densidad del subsuelo (ρ), topografía del terreno (T), mareas luni-solares (M) y tiempo (t), [Andres C, 2014] es decir, en un dato de magnitud de gravedad se presenta la siguiente relación matemática:

$$g = f(h, \varphi, \rho, T, M, t)$$

A partir de estos supuestos se obtiene la fórmula internacional de la gravedad, también conocida como gravedad normal, que se encuentra en función de la latitud del

lugar φ, por lo cual será mayor en el polo que en el ecuador. La gravedad normal o gravedad teórica $\gamma f(\varphi)$, definida por IUGG para 1980 [Moritz, 1980], es:

$$\gamma = 978032{,}71 * (1 + 0{,}0053024 * (\sin^2 \varphi) - 0{,}0000058 * (\sin^2 \varphi)) \text{ miligales}$$

4.4.1. Reducciones de gravedad

Las reducciones son un conjunto de procedimientos matemáticos para corregir o retirar la parte global del campo gravitatorio que oscurece la contribución de la geología del terreno al campo gravitatorio medido [Jacoby and Smilde, 2009]

4.4.1.1. Corrección por latitud La rotación de la Tierra y el abultamiento ecuatorial producen un incremento de la gravedad con la latitud; la aceleración centrífuga debido a la rotación de la Tierra es máxima en el ecuador y cero en los polos y opuesta a la aceleración gravitacional, mientras que el achatamiento polar aumenta la gravedad en los polos, por lo que el geoide está más cerca del centro de masa de la Tierra en estos puntos. Este último efecto es contrarestado en parte por el aumento de la masa atrayente en el ecuador. [Telford et al., 1990]

$$C_L = 0{,}811 * \sin^2 \varphi \ \frac{miligales}{km}$$

siendo φ la latitud expresada en grados y C_L es la corrección por latitud ne miligales.

4.4.1.2. Corrección aire libre Mientras que la fórmula internacional de gravedad estima los valores teóricos de gravedad como función de la latitud, en el caso de las estaciones de gravedad distribuidas a lo largo de un perfil topográfico requieren la reducción de altura que no tiene encuenta la masa por encima o por debajo del elipsoide. Históricamente esta correción de la altura se ha llamado corrección aire libre y se encuentra asociada a una altura normal H, no a una altura elipsoidal h, pero para própositos de prospección geofísica se utiliza h. [Li and Götze, 2001]

$$C_{AL} = -0{,}3086 * h \ miligales$$

4.4.1.3. Corrección Bouguer Consiste en cancelar la contribución de las masas que se encuentran localizadas entre el nivel de referencia y el nivel de la estación, para simplificar su cálculo se asume una lámina infinita con densidad constante (ρ) cuyo grosor es la diferencia entre la altura de la estación y la altura del nivel de referencia [Nettleton, 1939]

$$C_B = 0{,}04192 * \rho * h \ miligales$$

Donde C_B es la correccion de Bouguer, h es la altura en metros y ρ es la densidad en g/cm^3

4.4.1.4. Densidad de Reducción Para calcular la corrección de Bouguer se necesita una densidad representativa de las rocas en superficie que permita eliminar la contribución superficial que se encuentra por encima del nivel de referencia, la escogencia de un valor de densidad adecuado es crítica, ya que la subestimación o sobreestimación de este valor da lugar a valores de ruido asociado a fuentes muy superficiales y a cambios topográficos.

La densidad de reducción se determina por medio de los perfiles de Nettleton [Nettleton, 1939] y el método de Jung [Jacoby and Smilde, 2009]

4.4.1.5. Corrección por mareas Los instrumento de medida de gravedad son sensibles a los cambios de gravedad causados por el movimiento de la luna y el sol, cambios que dependen de la latitud de la estación y el tiempo de lectura. estos valores pueden llegar a 0,3 miligales. esta correción se calcula conociendo la localización de la luna y el sol; sin embargo, estas variaciones son relativamente pequeñas y en varios instrumentos se corriguen automáticamente durante el día, mientras las mediciones se están realizando, un gravímetro está sujeto a la atracción de as mareas, incluyendo desplazamiento vertical debido a las mareas de la Tierra. [Telford et al., 1990]

4.4.1.6. Corrección de terreno La correción topográfica o de terreno deberá ser adicionada para obtener valores correguidos de diferencia de gravedad. Los valores pueden ser obtenidos de tablas de promedios de elevación estimados utilizando retículas superpuestas sobre cartas de curvas de nivel, o mediante programas computacionales que tienen en cuenta el modelo digital de terreno.

Hay varios métodos para realizar la correción topográfica, por cilindros, por prismas rectangulares; lo que buscan es modelar de la mejor manera las condiciones reales de topografía presentes alrededor de la estación de lectura y de esta manera obtener un mejor valor corrección en la gravedad obtenida. por ejemplo, uno de los métodos es el mostrado en [Telford et al., 1990], cuya expresión es:

$$C_T = \sum_r \sum_\theta \delta g_T(r, \theta)$$

Donde

$$\delta g_T(r, \theta) = G\rho\theta\{(r_o - r_i) + (r_o^2 - r_i^2)^{\frac{1}{2}} - (r_o^2 - \Delta Z_i^2)^{\frac{1}{2}}\}$$

Con:

- C_T = corrección topográfica
- δg_T = contribución de cada sector
- G =constante de gravitación universal
- δ = sector del ángulo en radianes
- $\Delta Z = |Z_s - Z_a|$
- Z_s = elevación

- Z_a = promedio de elevación del sector
- r_i = radio interno del sector
- r_o = radio externo del sector

La zona muy cercana con un radio de 175 m se mide en campo tomando varias medidas azimutales de la pendiente topográfica de la estación aproximadamente cada 25 m, la zona cercana o anillo E a H de Hammer es la comprendida entre 175 m y 2600 m, la zona intermedia es aquella comprendida entre 2.6 Km y 22 Km de la estación o anillo H a M de Hammer y la zona lejana es aquella comprendida entre 22 Km y 165 Km.

4.5. Método de Nettleton

El método de Nettleton consiste en la comparación de los perfiles topográficos con los valores de la anomalía simple de Bouguer con diferentes valores de densidad, el valor más adecuado de densidad es el que cancela en su totalidad el efecto topográfico. [Nettleton, 1939]

4.6. Método de Jung

El Método de Jung consiste en calcular la anomalía de Bouguer promedio para todas las estaciones (BA_o) y la altura promedio de las mismas (h_o) y se determina un coeficiente de correlación nulo entre las alturas (h_i) y las anomalías de Bouguer de cada estación (BA_oi) con la siguiente ecuación:

$$\rho = \rho_0 + \frac{\sum_i [(BA_{oi} - BA_o) * (h_i - h_o)]}{2\pi G \sum_i (h_i - h_o)}$$

siendo ρ_o la densidad asumida originalmente para el terreno [Jacoby and Smilde, 2009]

4.6.1. Anomalía Gravimétrica

Una anomalía gravimétrica es una desviación del campo gravitatorio medido en un punto (gravedad normal) con respecto al campo gravitatorio teórico calculado en el mismo punto. [Jacoby and Smilde, 2009]

4.6.1.1. Anomalía Total de Bouguer (ABT) La anomalía total es aquella que se obtiene a partir de la diferencia entre el valor observado corregido de gravedad y el valor teórico de gravedad, que se escribe en los siguientes términos:

$$\Delta g_{BT} = g_{obser-corre} - \gamma_t + C_{AL} - C_B + C_T$$

donde:

- $g_{obser-corre} = g_{obser} - C_D + C_M$
- g_{obser} = gravedad observada

- C_D = correción por deriva instrumental
- C_M = correción por mareas
- C_{AL} = correción por aire libre
- C_B = correción Bouguer
- C_T = correción topográfica.

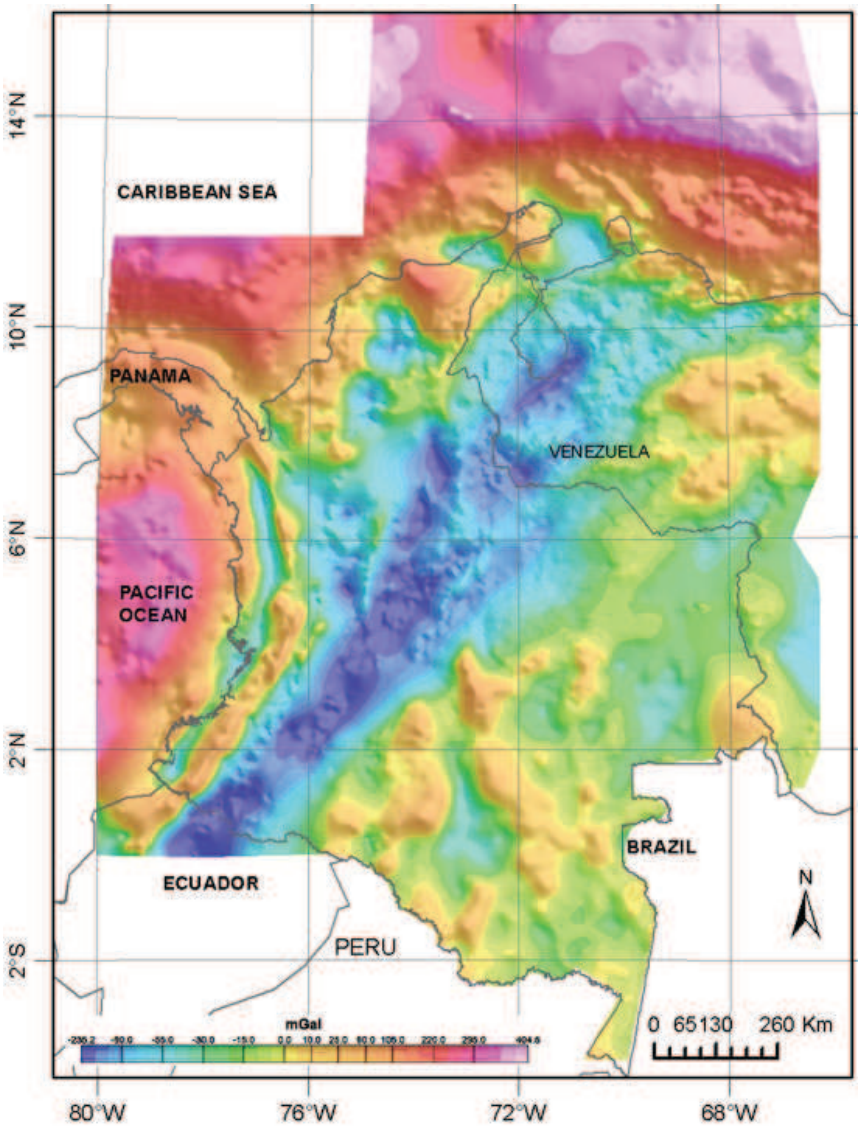


Figura 2: Anomalías Bouguer total de Colombia

tomado de: [ANH, 2010]

4.6.2. Campo Geomagnético de la Tierra

Desde la época de los navegantes, se encontró que la localización de los polos magnéticos no es estática, sino que tiene una variación aproximada de 15 kilometros aproximada sobre la superficie de la Tierra; además no presentan el mismo eje axial, es decir, no están en posiciones opuestas en el globo. En la actualidad, el polo sur magnético está más lejos del polo sur geográfico que el polo norte magnético del polo norte geográfico; esto se evidencia en las posiciones geográficas, las cuales son: 82,7° de latitud N y 114,4° de longitud W, para el polo norte magnético, y 63,1° de latitud S y 137,5° longitud W, para el polo sur magnetico. [Lowrie, 2007]

4.6.3. Campo Geomagnético Internacional de referencia (IGRF)

El campo magnético es la suma de el campo magnico "principal", el campo de anomalias y, de variaciones pseudoperiódicas y transitorias. El campo magnético "principalçonstituye aproximadamente el 99 % del campo magnético. su origen se encuentra en el interior del planeta, particularmente en el núcleo externo flúido. El origen del campo de anomalías se encuentra en la corteza terrestre. Está relacionado principalmente con la distribución de minerales ferromagnéticos. Las variaciones tanto periódicas como transitorias son originadas directa o indirectamente por corrientes eléctricas en la ionosfera, inducidas por la actividad solar. [Enríquez et al., 1991]

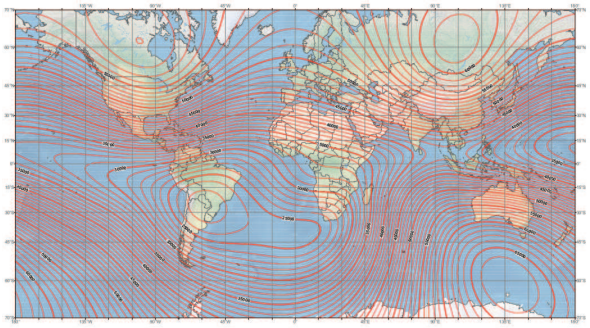


Figura 3: Intensidad del campo geomagnético Total

tomado de: [NOAA, 2015]

4.6.4. Variaciones del campo magnético

A diferencia del campo gravitatorio de la Tierra, el campo magnético es menos estable y varia con el tiempo. Sus variaciones más importantes son las variaciones periódicas, no periódicas y tormentas magnéticas.

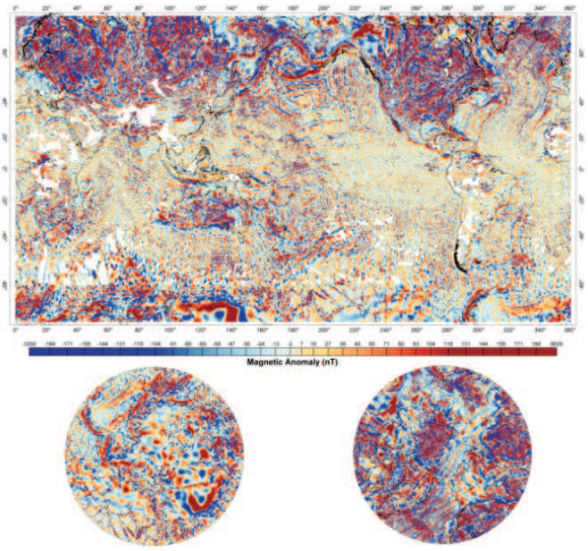


Figura 4: Red de anomalías magnéticas terrestres

tomado de: [NOAA, 2015]

4.6.4.1. Corrección por variación diurna Para el calculo de esta corrección es necesario contar con dos magnetometros, la base que registrará los cambios del campo geomagnético en el tiempo y el móvil que registrara los cambios del campo geomagnético en el espacio o cambio del campo con las coordenadas espaciales, Si ambos magnetómetros están sincronizados las variaciones temporales que registre el magnetómetro base se pueden transferir al magnetómetro móvil siempre y cuando la distancia entre ambos no exceda los 100 Km.

$$VD(t_i) = LB(t_i) - LB_{prom}$$

En la ecuación anterior $VD(t_i)$ es la variación diurna en el tiempo t_i, LB_{prom} es el valor promedio del campo geomagnético medido en la estación base y $LB(t_i)$ es la lectura del campo en la estación base para el tiempo t_i.

$$CD(t_i) = LM(t_i) - VD_{t_i}$$

La corrección diurna dada por $CD(t_i)$ es el traslado de los valores de variación diurna en las lecturas del magnetómetro móvil en el tiempo t_i siendo $LM(t_i)$ la lectura del magnetómetro móvil en el tiempo t_i.

4.6.4.2. Corrección por variación secular Las variaciones del campo magnético debidas a cambios lentos en la rotación del núcleo terrestre se corrigen utilizando los valores de la derivada del campo magnético total que se registra en el valor del IGRF.

Esta corrección se realiza cuando se integran varias adquisiciones magnetométricas espaciadas por meses o años.

La corrección secular esta descrita por las siguientes ecuaciones:

- $VS(t_i) = \frac{\Delta F}{\Delta t} \ *(t - t_0)$
- $CS(t_i) = LM(t_i) \mp VS(t_i)$

Siendo $LM(t_i)$ la lectura de la estación móvil en el tiempo (t_i), $VS(t_i)$ el valor de la corrección secular a partir del cambio del campo IGRF en función del tiempo $\frac{\Delta F}{\Delta t}$, t el tiempo final y t_0 el tiempo inicial.

Para la estructuración de los diferentes conceptos que hacen referencia dentro del marco teórico, se tomó como base el documento [Beltran Luque, 2015] en donde se constituyen los diferentes conceptos mencionados con anterioridad y se proporciona la bibliografía necesaria para ser consultada y verificada. La cual serviría como apoyo en el proceso de conformación conceptual del documento

5. Metodología del proyecto

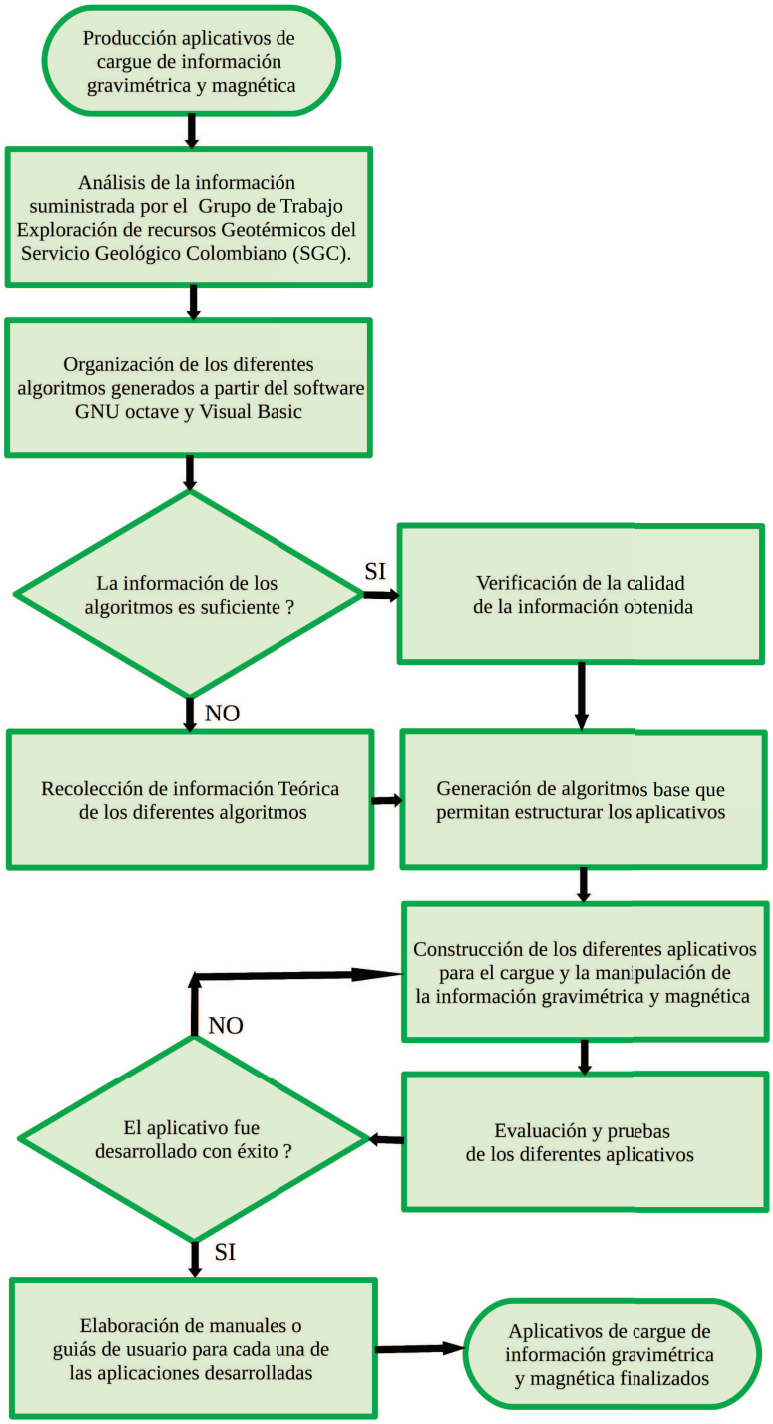


Figura 5: Esquema de procesos para la elaboración de los aplicativos de gravimétricos y magnéticos

6. Fases de ejecución del proyecto

6.1. Fase 1. Análisis de la información suministrada por el Grupo de Trabajo Exploración de recursos Geotérmicos del Servicio Geológico Colombiano.

Esta primera parte tuvo como objetivo definir la información con la que se contaba dentro del **Servicio Geológico Colombiano**, esta información fue fundamental a lo largo del desarrollo del proyecto. Lo primero para la generación de los diferentes aplicativos fue una revisión bibliográfica la que nos proporcionó la base teórica necesaria para la ejecución de estos.

Esta revisión costa de tres componentes principales, el componente de programación en el lenguaje **Python**, el componente de la gravimetría y por último la magnetometría.

6.1.1. Lenguaje de Programación Python

Dentro del lenguaje de programación fue necesario afirmar conceptos tales como:

- Algoritmos.
- Programación Orientada a objetos.
- Herencia.
- Manejo de ficheros.
- Tipado dinámico.
- Lenguaje Interpretado
- Multiplataforma

Todos estos conceptos permitieron mejorar la comprensión del lenguaje Python, el cual fue la base para todo el procesamiento e interfaz gráfica del programa generado a lo largo de este proyecto, esta revisión estuvo compuesta por dos partes, material escrito y en vídeo que mejoró la comprensión del lenguaje y permitió alcanzar el objetivo del desarrollo del aplicativo.

6.1.2. Gravimetría

La gravimetría tiene un manejo muy específico en la corrección de errores y la definición de la gravedad absoluta de un conjunto de datos, para la definición de la gravedad se identificaron 6 factores fundamentales:

- Altura elipsoidal.
- Latitud.
- Variaciones de densidad del subsuelo.
- Topografía del Terreno.

- Mareas luni-Solares.
- Tiempo.

Entre los cuales se utilizó la latitud para identificar el valor de la gravedad normal, la cual se encuentra definida a partir de la latitud del lugar por la fórmula:

$$\gamma = 978032{,}71 * (1 + 0{,}0053024 * (\sin^2 \varphi) - 0{,}0000058 * (\sin^2 \varphi)) \text{ miligales}$$

Otros conceptos fundamentales para el procesamiento de datos gravimétricos fueron:

- Corrección por Latitud
- Corrección aire libre
- Corrección Bouguer
- Corrección por mareas
- Corrección de Terreno
- Método de Nettleton
- Método de Jung
- Densidad de Reducción
- Anomalía Total de Bouguer

Estos conceptos fueron necesarios para obtener de los datos crudos de gravimetría el máximo provecho, debido a que estos permiten corregir los mismo y llegar al punto de interpretación de datos gravimétricos de manera clara.

6.1.3. Magnetometría

La información para el procesamiento de la gravimetría contó con una accesoria cercana del **Servicio Geológico Colombiano** en donde se definió el campo Geomagnético de la tierra el cual sirve de referencia para la determinación del campo Geomagnético Internacional de referencia **(IGRF)** el cual es la base de tipo de procesamiento magnético sobre la tierra.

Al igual que la gravimetría, la magnetometría necesita de correcciones generadas por diversos factores externos al procesamiento, como es el caso del sol sobre el campo magnético de la tierra; para estas correcciones se realizó una documentación de las siguientes correcciones:

- Corrección por variación diurna
- Corrección por variación secular
- Corrección Topográfica.

Al definir cada uno de los conceptos mencionados con anterioridad se obtuvo el compendio teórico necesario para la generación del aplicativo que permite el procesamiento de datos gravimétricos y magnéticos sobre el lenguaje de programación **Python**.

6.2. Fase 2. Organización de los diferentes algoritmos generados a partir del software GNU octave y Visual Basic.

Antes del desarrollo del proyecto fue necesario la verificación y organización de los diferentes algoritmos desarrollados por el **Servicio Geológico Colombiano**, para esto se dividieron en dos etapas, la primera para los algoritmos de gravimetría y la segunda para los algoritmos de magnetometría.

El desarrollo de estos algoritmos se encuentra dividido de la siguiente manera:

6.2.1. Gravimetría

- mapa_matriz.m
- minimizador.m
- Separador.m
- Red_Gravimetria_Deriva.m
- secular_grav.m
- Grav_teorica.m
- Nettleton_General.m
- Bouguer_corr.m
- Bouguer_Density.m
- Grav_teorica_Correccion_Bouguer.m

6.2.1.1. mapa_matriz.m Este algoritmo brinda la posibilidad de generar una distribución de las diferentes bases dentro de un archivo .txt, a partir de los datos ingresados y sus bases, de este algoritmo se obtiene una matriz de 2 columnas por n filas en donde la primera columna contiene el número de cada una de las bases y la segunda columna dice el número de móviles que comparten la misma base.

6.2.1.2. minimizador.m El algoritmo de minimizador está fundamentado para utilizar los datos de **mapa_matriz.m** y a partir de este comenzar a separar la matriz madre en pequeñas submatrices para poder trabajar con cada una de ellas una a una.

6.2.1.3. Separador.m Separador es un algoritmo que a partir de los datos ingresados genera una separación en pequeñas submatrices de los datos, dentro de este se encuentra una variable de estado que en caso de ser igual a 1, divide de acuerdo con la igualdad de las primeras dos columnas ingresadas. En el caso de que sea 0 desgaja de acuerdo con la desigualdad de estas columnas mencionadas, por otra parte este algoritmo determina la mínima desviación estándar de las separaciones que realiza.

6.2.1.4. Red_Gravimetria_Deriva.m Este es el algoritmo principal para el trabajo de la gravimetría, dentro de este algoritmo se integran las diferentes funciones anteriormente mencionadas junto con líneas de código que permiten obtener de manera rudimentaria el procesamiento de datos gravimétricos, las funciones que este algoritmo llama para alcanzar sus objetivos son: **mapa_matriz.m, minimizador.m, Separador.m.**

6.2.1.5. Secular_grav.m El algoritmo tiene como función principal calcular la corrección de mareas para los datos crudos y de las estaciones base. Dentro de este algoritmo se evidencia el uso de la función *polyfit* que permite realizar un ajuste de curva polinomial, el cual es requerido para calcular la reducción y por ende obtener los valores de las correcciones.

6.2.1.6. Grav_teorica.m Dentro de este algoritmo de encuentra la fórmula de la gravedad internacional de 1967 y la de Somigliana-Piazetti para el cálculo de la gravedad teórica, dentro del programa la fórmula de la gravedad internacional es la que se utiliza para el cálculo de las diferentes anomalías, a diferencia de la Somigliana que su utilidad es de comprobación más no de procesamiento de los datos de gravedad.

6.2.1.7. Nettleton_General.m Es un algoritmo que sirve como base para la generación del algoritmo de **Bouguer_Density.m**, dentro de este algoritmo se definen los diferentes casos y bucles para la aplicación del método de Nettleton y el coeficiente de correlación de Pearson y Jung.

6.2.1.8. Bouguer_Density.m Este algoritmo está fundamentado en la base teórica del método de Nettleton y el coeficiente de correlación de Pearson y Jung para el cálculo de la densidad de la zona de estudio, este algoritmo presenta mayor precisión al aplicarse a zonas regulares y no a las zonas con pendientes más pronunciadas.

6.2.1.9. Bouguer_corr.m Esta función es corta, sin embargo es de gran utilidad en la definición de la corrección de Bouguer, ya que ésta utiliza cada uno de los datos obtenidos en los anteriores procesamientos, aplica la formula respectiva con cada una de las correcciones y se obtiene la Corrección de Bouguer.

6.2.1.10. Grav_teorica_Correccion_Bouguer.m Este algoritmo integra los algoritmos de: **Grav_teorica.m**, **Bouguer_Density.m** y **Bouguer_corr.m** con el objetivo de obtener el cálculo final de la gravedad y la corrección de aire libre para el conjunto de datos que se esté trabajando.

6.2.2. Magnetometría

- Generador_Magnetogramas.m
- Graf_Interp_Magnetometria_sel.m
- Magnetograma.m

- Magnetograma_Comparado.m
- Mapa_Bases2.m
- mapa_matriz.m
- min_cuad.m
- reader_coeff.m
- Ventana_seleccion.m

6.2.2.1. Generador_Magnetogramas.m Dentro de este algoritmo es necesario la utilización de diversas funciones como **min_cuad.m** y **Magnetograma_Comparado.m**, este algoritmo se introduce la matriz de bases, el resultado obtenido de **mapa_matriz.m** para así generar los gráficos de los magnetogramas y a partir de esto escoger la interpolación que mejor se adecue a los magnetogramas ya limpios.

6.2.2.2. Graf_Interp_Magnetometria_sel.m Este algoritmo realiza un mapeo de los magnetogramas separados por estación base y por fecha, obteniendo así los magnetrogramas primarios y dentro de los mismos realizar las funciones de limpieza de cada uno de los magnetogramas para dejar estos listos para comenzar el proceso de interpolación. Este algoritmo está compuesto por las funciones de **Magnetrograma.m**, **mapa_Bases2.m**, **Generador_Magnetogramas.m** y **Ventana_seleccion.m** y de este se obtiene como resultado el archivo de polinomios de interpolación y el archivo de variación diurna calculada en los móviles.

6.2.2.3. Magnetograma.m Este algoritmo se encuentra compuesto por una función que genera la gráfica de los magnetogramas a partir de los datos del eje x, el eje y, la transformación de los datos de la columna de la fecha y una columna de estación.

6.2.2.4. Magnetograma_Comparado.m Al igual que el algoritmo de **Magnetrogram.m**, éste tiene una función que permite realizar la gráfica con respecto a los datos del eje x, el eje y, la transformación de los datos de fecha, los datos de la estación del magnetograma y el grado de interpolación que brindará una curva diferente dependiendo del grado seleccionado entre 1 y 8.

6.2.2.5. Mapa_Bases2.m Esta es una función muy importante para la división de los datos dependiendo de su estación, su base o ambas, ella recibe los datos correspondientes a la matriz de datos, las estaciones y la fecha. A partir de estas se puede generar un mapa de las divisiones mencionadas con anterioridad.

6.2.2.6. mapa_matriz.m Este algoritmo brinda la posibilidad de que a partir de los datos ingresados y sus bases,se genere una distribución de las diferentes bases dentro de un archivo .txt, de este algoritmo se obtiene una matriz de 2 columnas por n filas en donde la primera columna contiene el número de cada una de las bases y la segunda columna dice el número de móviles que comparten la misma base.

6.2.2.7. min_cuad.m El algoritmo referente a min_cuad.m es el encargado del cálculo de cada uno de los componentes que permiten generar la curva más parecida a los datos de los magnetogramas, dentro de este es posible definir desde el grado 1 hasta el grado 8 de la curva polinómica por mínimos cuadrados.

6.2.2.8. reader_coeff.m Esta pequeña función tiene el objetivo de leer los coeficientes generados dentro del algoritmo de **min_cuad.m**, partiendo de esta lectura se identifica el grado de polinomio que lo generó.

6.2.2.9. Ventana_seleccion.m El algoritmo de ventana selección tiene dentro de su funcionamiento un parámetro de decisión para escoger el número de vértices con el cual seleccionar, dentro de éste se seleccionan los datos que se desean eliminar y se obtiene una visualización previa de los datos eliminados, si se está de acuerdo con la visualización obtenida, se procede a continuar eliminando los datos, es una función cíclica que termina en el momento que no se requerida por quien procesa los datos.

6.3. Fase 3. Identificación y recolección de información que cumpla con las diferentes necesidades a satisfacer en los aplicativos.

La elaboración del aplicativo involucró un alto número de librerías y paquetes, entre los cuales se destacan los más importantes que permitieron producir los resultados deseados con respecto al aplicativo. Estas fueron:

- Tkinter: Librería fundamental para el desarrollo de la interfaz gráfica dentro de Python, esta librería es la base para la generación de los menús, botones, listas desplegables, ventanas y demás herramientas que facilitan el uso de cada una de las funciones del aplicativo, esta librería brinda la posibilidad de manejar diversas ventanas e incorporar librerías que brindaron el mejor resultado para el procesamiento de los datos Gravimétricos y Magnéticos.
- Numpy: Esta librería tiene la facultad del manejo de matrices y arreglos, es fundamental para el manejo de los datos para gravimetría y magnetometría debido a que esta permite las diferentes operaciones necesarias entre matrices y arreglos, como la creación de diferentes tipos de arreglos según la necesidad.
- Easygui: Como su nombre lo indica, esta librería está hecha con el objetivo de brindar interfaces sencillas y prácticas dependiendo de la necesidad, esta librería es aplicada al interior de los programas para la generación de notificaciones o avisos los cuales en situaciones permiten la toma de decisiones del usuario o en otros casos sólo notifica la terminación de un proceso.
- Time: Esta librería brinda la función de obtener el tiempo del equipo en uso, para la generación automática de los reportes instaurados dentro del programa. Como en el caso de la gravimetría que nos otorga la facultad de saber a qué hora y en qué momento se produjo el informe.

- Csv: La librería de csv es fundamental para la ejecución del programa, debido a que esta es la encargada de la lectura de datos de todo el programa, esta librería nos permite pasar del archivo .CSV a matriz para que esta pueda ser manipulada para Python (numpy) dentro del programa.
- Matplotlib: Matplotlib es una librería de gran utilidad dentro del programa, debido a que esta brinda funciones para la creación de las diferentes gráficas, selección de datos, determinación de coordenadas y todo lo referente a la creación de los gráficos dentro del programa, como también permite exportar los gráficos en diferentes formatos para su utilización.
- Webbrowser: Esta librería tiene como función abrir el pdf con el lector de pdf predeterminado en la computadora o con el que se seleccione al no tener uno predeterminado. Dentro del programa tiene la función de mostrar los diferentes informes que se generen de los resultados del procesamiento.
- Pypdforc.pypdforc_gs: Esta librería tiene una función particular dentro del programa para el manejo de archivos pdf, la cual es convertir estos en imagen con el objetivo de poder ser visualizados dentro de la interfaz gráfica, partiendo de la función *canvas* de la librería *matplotlib.*
- Openpyxl: Esta librería se especializa en el manejo de documentos con extensiones .xlsx, .xlsm y xls referentes a los libros de Excel, recorrer sus páginas como también sus columnas y filas, dentro de nuestro aplicativo esta librería toma relevancia en la transformación de archivos al momento de necesitar abrir un documento con las extensiones mencionadas y transformarlo a un archivo delimitado por comas.
- Glob: Este es un módulo nativo de Python que tiene un alto uso y gran funcionalidad para el manejo de rutas de los archivos, ya que este nos brindará la posibilidad de analizar el contenido que se encuentra en una ruta específica y llamarlo dentro de nuestro aplicativo.
- Math: La librería referente a math, está desarrollada para la aplicación de diversas funciones matemáticas no tan convencionales en los lenguajes de programación, como el caso de las raíces cuadradas o la aplicación de funciones trigonometrías, las cuales son de gran utilidad a la hora de desarrollar el programa, ya que brinda la posibilidad de obtener los cálculos con el nivel de precisión necesario.
- Pandas: Es una librería destinada al análisis de datos, dentro de la cual es posible analizar series, DataFrame y arreglos tridimensionales, para el caso del aplicativo, *pandas* apoya a las demás librerías para el manejo de archivos con extensiones xls o derivados, permitiendo leer el archivo tipo xls y transformándolo a .CSV.
- PIL: La librería PIL, está diseñada para el manejo de archivos tipo imagen, razón por la cual se seleccionó, se importó la función *Image* que pertenece a esta librería con el objetivo de abrir las imágenes generadas después de la transformación del pdf en jpg, para así estas ser incorporadas dentro de la interfaz gráfica generada a partir de *Tkinter.*

- Datetime: Esta generado con el objetivo de manejar la información referente a las fechas y el tiempo, esta librería cuenta con numerosas funciones para obtener fechas y horas en diferentes formatos, para el caso puntual del programa desarrollado se utilizó para la transformación de fechas a formato numérico para así poder realizar operaciones con estas las cuales volverían a su formato de fecha y hora a partir de la misma librería.

6.4. Fase 4. Generación de algoritmos base, los cuales permitan estructurar el programa.

Los algoritmos base dentro de un programa son aquellas funciones que se usaran de manera repetitiva dentro del programa, para el caso del aplicativo para el análisis de datos gravimétricos y magnéticos fue necesario en primera medida definir el tipo de archivos que se manejarían dentro del mismo. Para que este no tuviera un acceso restringido dentro de los diferentes sistemas operativos que se puede generar, fue necesario pensar en un formato que se pudiera ejecutar dentro de los diferentes sistemas operativos que este a su vez no fuera pesado y de fácil ejecución dentro de Python, lo que llevó a la seleccionar 2 tipos de archivos, .TXT y .CSV, al analizar que lo que necesitaba este programa era un formato práctico que guardara valores numéricos, se optó por seleccionar el formato .CSV, ya que este es práctico, delimitado por comas y guarda valores de texto.

Al seleccionar este formato se definieron algoritmos base para su manejo dentro del programa, los cuales fueron:

- Abrir archivos .CSV
- Exportar archivos .CSV
- Transformar archivos .CSV a Matriz
- Transformar archivos .CSV a .XLS y viceversa.

6.4.1. Abrir archivos .CSV

El algoritmo para la apertura de archivos .CSV es fundamental para el desarrollo del programa debido a que este formato fue el definido como base para la ejecución del programa, razón por la cual se estableció dentro del algoritmo el uso de la librería *easygui*, para el llamado y almacenamiento de la ruta en donde estos se encontraban estos archivos, una extensión por defecto para filtrar únicamente los archivos de este tipo, además dentro del mismo algoritmo se implementó la posibilidad de tener un indicador de los label que cambia de color dependiendo del estado de la ruta que se obtenga, como también el nombre del archivo que ha sido llamado.

6.4.2. Exportar archivos .CSV

Al igual que para abrir los archivos .CSV es necesario obtener una ruta y manejar una extensión para filtrarlos, es por esta razón que se utiliza nuevamente la librería *easygui* que nos brinda la posibilidad de generar una pequeña interfaz gráfica en

donde se almacena la ruta en la que se desea almacenar el archivo, además es necesario la incorporación de la librería *numpy* la cual con el comando *savetxt* nos brinda la posibilidad de guardar nuestro archivo al agregarle la ruta, la matriz, el tipo de delimitador y el formato en el cual se va a guardar cada uno de los datos, para así generar nuestro archivo resultante.

6.4.3. Transformar archivos .CSV a Matriz

La transformación de archivos de .CSV a Matriz es mucho más compleja debido a que esta requiere de la manipulación de la matriz de datos que es recogida a partir del archivo .CSV. lo primero es seleccionar el objeto que tiene almacenado la matriz de datos la cual se encuentra como un *string*, esta matriz necesita separar las cabeceras y a su vez pasar a un formato *float* para así poder realizar las diversas operaciones con los archivos, dentro de este proceso es necesario utilizar la librería *numpy* y dentro de ella se usaron los módulos de: **transpose, delete y array**, los cuales permitirían transponer la matriz, eliminar la cabecera y darle el formato de float a la misma.

6.4.4. Transformar archivos .CSV a .XLS

El módulo de conversión de archivos de .CSV a .XLS adquiere importancia debido a la necesidad del Servicio Geológico Colombiano en el uso del software Office Excel para la visualización de los resultados, razón por la cual se genera un módulo que permita transformar los archivos directamente de .CSV a .XLS sin la necesidad de especificar ningún dato, dentro de este módulo se utiliza la librería *easygui* para obtener la ruta en la cual se abre el archivo y la ruta sobre la cual se guardará el archivo ya transformado, por último utilizamos la librería *openpyxl* importando el módulo de Workbook el que nos permitirá pasar a .CSV cada uno de las páginas que componen el libro de Excel.

6.4.5. Transformar archivos .XLS a .CSV

Al igual que el módulo anterior se encuentra la necesidad de transformar los archivos provenientes del software Office Excel que vienen en formato .XLS a .CSV debido a que el programa desarrollado maneja su formato base en .CSV, razón por la cual se utilizó la librería easygui para la obtención y generación de rutas de entrada y salida de los archivos, y a su vez la utilización de la librería *openpyxl* que nos brindará la posibilidad de transformar nuestro archivo a un formato conocido para nuestro software.

6.5. Fase 5. Construcción de los diferentes aplicativos para el cargue y manipulación de la información gravimétrica y magnética.

6.5.1. Corrección de relajación

Este aplicativo se encuentra compuesto por 8 botones, de los cuales 4 tienen el objetivo de funcionar como una guía rápida para la correcta utilización del aplicativo, además encontramos dos labels que sirven como indicador del cargue de los archivos, el primer botón que corresponde a TOTAL permite subir todos los datos de los móviles al aplicativo y a partir del label que le sigue se puede identificar si la información se cargó de manera correcta, seguido tenemos el botón de BASE que permite cargar la información referente a las bases de los móviles, y al igual que en el caso de total, cuenta con un label que indica si la información ha sido cargada de manera correcta. Cuando ya contamos con los dos labels indicando el color verde se procede a la utilización del botón GENERAR que permite realizar el procesamiento de los datos y nos otorga una gráfica la cual presenta los datos sin corregir y los datos corregidos, por último, está el botón SALIR que nos permitirá volver a nuestro menú principal para continuar con nuestro procesamiento de datos en cualquier otro ítem del aplicativo.

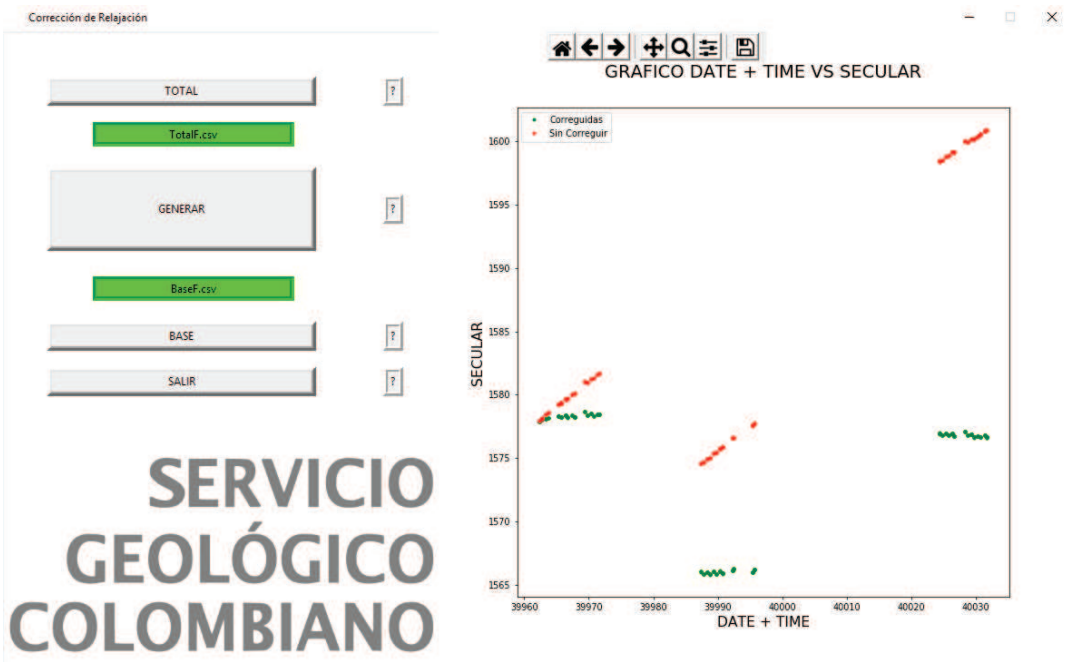


Figura 6: Módulo Corrección de relajación

6.5.2. Cálculo Deriva

Esta parte del aplicativo tiene una composición diferente a la anterior, dentro de la misma encontramos 5 botones para el procesamiento de los datos y 6 que sirven de ayuda para la ejecución de éste, también vemos 3 seleccionadores que se explicarán más adelante, dentro de este aplicativo encontramos al igual que en el anterior nuestro botón de TOTAL y nuestro botón de base que nos permiten cargar el total de móviles, y las bases necesarias para el procesamiento de los datos. Estos botones se encuentran acompañados de los dos labels que funcionan para la verificación que los archivos cargados, sean los correctos. En el aplicativo encontramos el botón FILTRAR que funciona a medida que se seleccionan alguna de las 3 opciones que permiten filtrar datos: **Eliminar Base, Igualar Base y Fecha igual a la Base**. Esta opción nos permite filtrar y eliminar los datos que se están trabajando sin dañar la integridad de los datos iniciales, por último encontramos nuestro botón SALIR y el botón PROCESAR, en donde el botón SALIR nos brinda la posibilidad de volver al menú principal de nuestro aplicativo y el botón PROCESAR que nos permitirá guardar nuestro datos obtenidos en csv, una imagen de la ubicación espacial de las estaciones y un informe en formato pdf que encontraremos dentro del aplicativo con el número de datos eliminados por cada filtro, el cierre máximo, la gravedad máxima y la gravedad mínima de los puntos procesados.

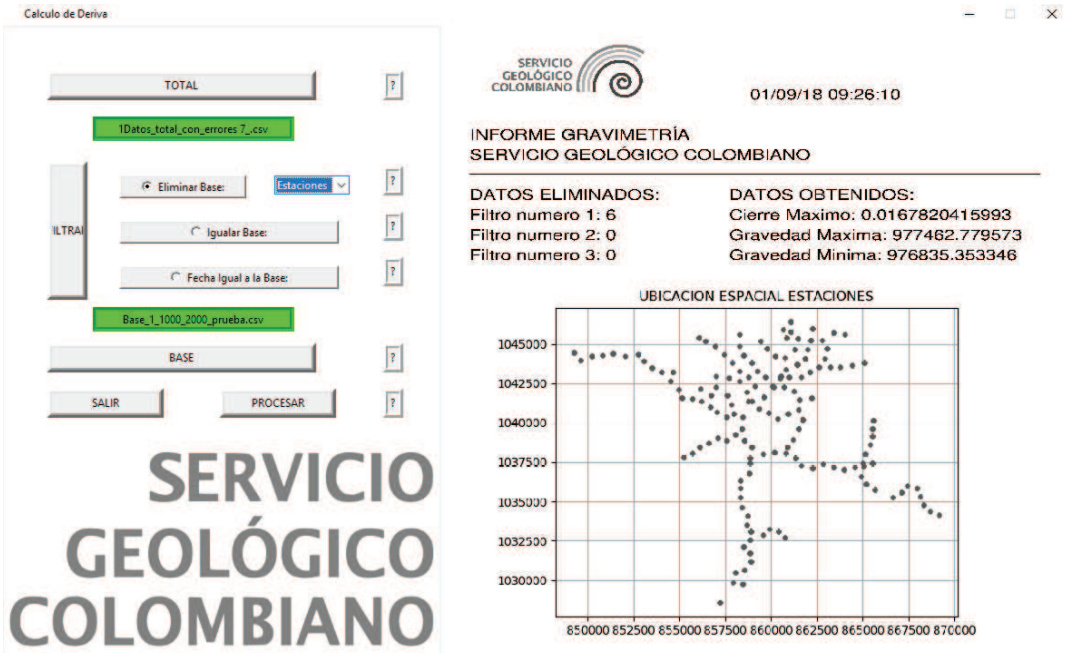


Figura 7: Módulo Cálculo Deriva

6.5.3. Correcciones

Dentro de esta parte del aplicativo se finaliza el componente de gravimetría, al igual que el primer aplicativo, esta interfaz cuenta con 8 botones de los cuales 4 tienen como objetivo orientar a las personas para trabajar sobre el mismo; por otro lado se encuentran los botones necesarios para el procesamiento, el botón de CARGAR ARCHIVO está diseñado para cargar los móviles ya procesados con anterioridad en el aplicativo anterior y generar una copia virtual de los datos que permita la manipulación de los mismo sin riesgo a perdida de la información, seguido encontramos el label que nos brinda la información si el archivo que se desea cargo de manera correcta o no, el siguiente botón que se llama PROMEDIAR ARCHIVO, como su nombre lo indica promedia los datos de cada móvil, obteniendo una archivo resumido con los datos promediados, y por último se encuentra el botón de procesamiento que a partir de la aplicación de los algoritmos mencionados con anterioridad realiza el cálculo de la densidad y le da la opción al usuario si mantiene ese valor o lo cambia por otro, para así obtener la grilla referente a la anomalía de Bouguer total.

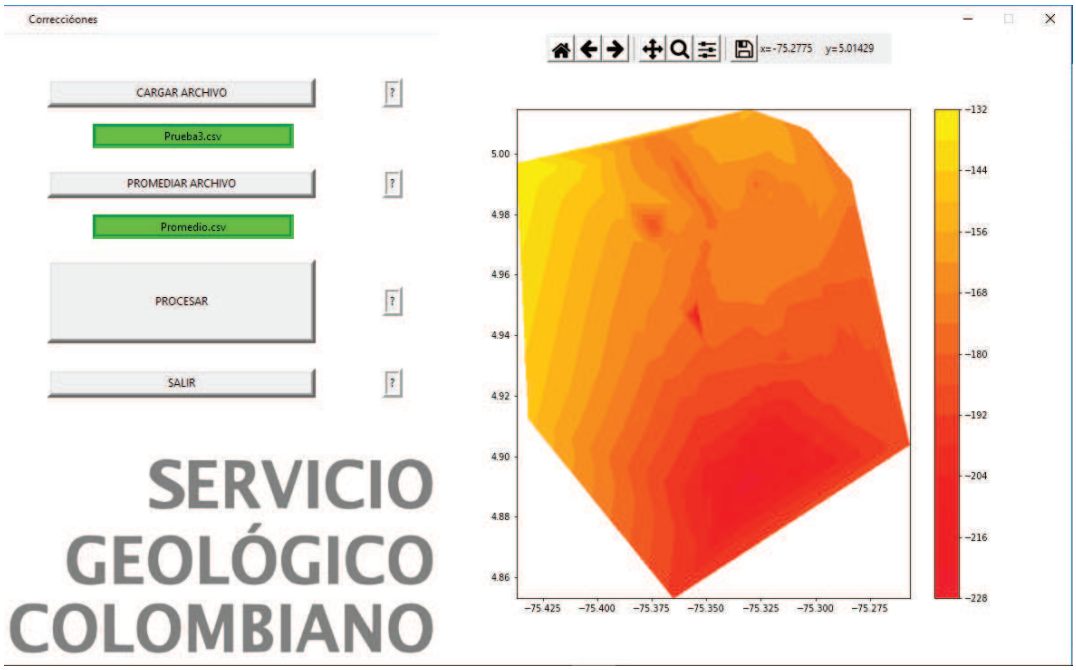


Figura 8: Módulo Correciones

6.5.4. Magnetogramas

En esta parte del aplicativo se encuentra, dividido en 2 partes fundamentales, la primera para el cargue de la información y la segunda para la manipulación de la información. En la primera parte encontramos los botones para cargar el archivo con el cual vamos a trabajar, el cual contiene toda la información de los magnetogramas, una vez está cargado el archivo se procede a organizar el mismo a partir de la fecha y la estación con el siguiente botón que lleva como nombre organizar archivo; todos estos con su debido label que sirve como guía e indica que los archivos cargados están bien, por último encontramos el botón de procesar que internamente realizará los procesos debidos para poder mostrar los magnetogramas.

A su vez dentro del mismo aplicativo encontramos la parte de manipulación de la información que se encuentra compuesta por 8 botones, 1 panel desplegable y una barra de carga. Los primeros 3 botones permiten la visualización de los magnetogramas, ya que son los encargados de la función de adelante y atrás para ir recorriendo cada uno de los magnetogramas, y el del medio que elimina los datos que se encuentren seleccionados. En el siguiente nivel se encuentra el botón de magnetograma original, que permite volver a los datos iniciales del mismo con el objetivo de no guardar los datos previamente eliminados, el siguiente es el encargado de guardar los datos de cada magnetograma y las operaciones que se han realizado sobre el mismo y por último en este nivel se encuentra el botón de Exp Magnetogramas y CSV, el cual permite exportar el trabajo realizado en un solo pdf para tener la visualización de todos los magnetogramas generados y un archivo csv que contiene la información con la cual se produjeron los magnetogramas. Para el último nivel se encuentra el panel despegable que funciona en conjunto con el botón de interpolar ya que dependiendo del nivel que en este se le indique así mismo será la interpolación y por último el botón Exp interpolación y CSV, que nos brinda en un único pdf los magnetogramas, con la interpolación que se le realizo a cada uno y un archivo CSV, que contiene los coeficientes de cada una de las interpolaciones realizadas y el grado de interpolación aplicado.

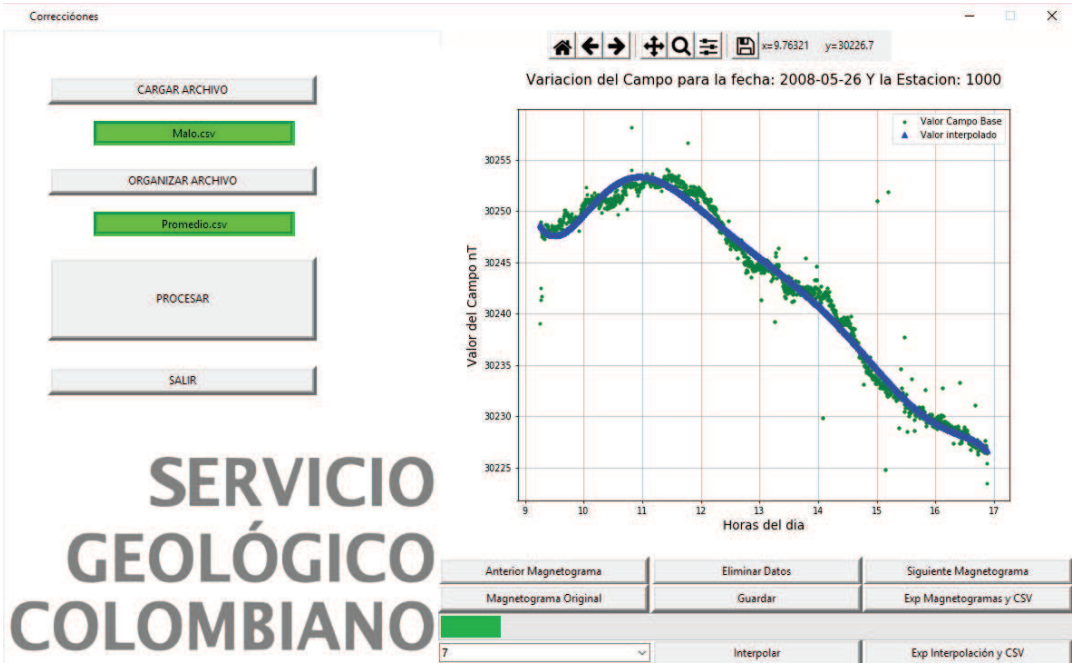


Figura 9: Módulo Magnetogramas

6.5.5. Csv2excel

Este aplicativo en su misma sencillez destaca por su utilidad debido a que con los resultados obtenidos en formato .CSV lo convierte en formato .XLS el cual es directamente legible en el software Office Excel lo que facilita la visualización de los resultados obtenidos dentro del procesamiento.

6.5.6. Excel2csv

Al igual que el aplicativo anterior, este módulo nos permite transformar archivos, pero en este caso son los documentos exportados del software Office Excel a formato CSV, lo que brinda una gran utilidad para el aplicativo en general ya que .CSV es el formato nativo seleccionado para el aplicativo, generando así un acceso universal de la información en este caso.

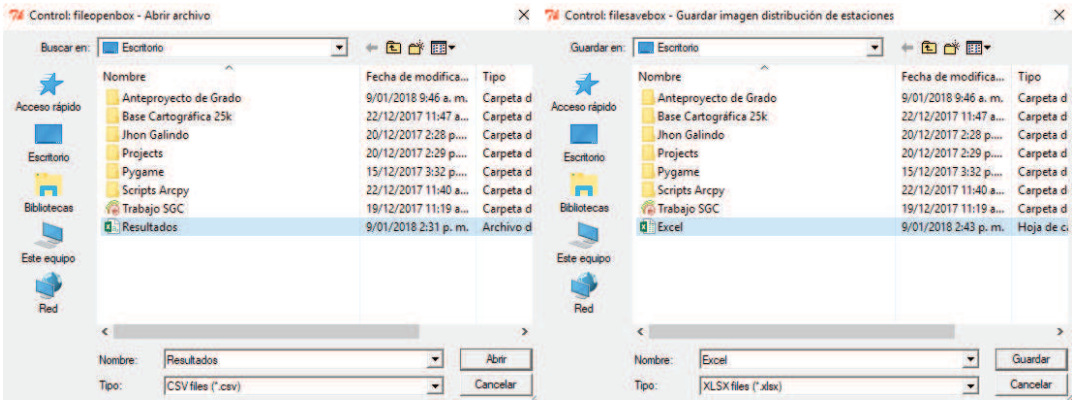


Figura 10: Módulo Transformaciones

6.6. Fase 6. Evaluación y pruebas.

El proceso de evaluación del aplicativo está basado en la ejecución de pruebas sobre el mismo, en donde a partir de la generación de un instalador con despliegue de consola en la ejecución del aplicativo se podía identificar en que partes se generaba algún error o inconsistencia para ser corregido.

Para esta corrección se realizaron pruebas a partir de los datos base con los que se contaba a la hora de ejecutar el aplicativo, en donde estas otorgaron resultados favorables y con la necesidad de generar algunas correcciones básicas dentro del código, así mismo se realizaron variantes en los formatos de entrada al aplicativo para así analizar los cambios y diferentes problemáticas que se pudieran generar, una vez terminado el proceso de prueba desarrollado por Jhon Galindo, se decidió proporcionar un instalador beta a Miguel Ángel Beltrán quien proporciono los códigos base [Beltran Luque, 2015] para la generación de aplicativo. Con este instalador beta se realizaron las pruebas pertinentes con datos más robustos, los cuales contaban con resultados de validación que permitirían comparar y analizar la capacidad del aplicativo de realizar el procesamiento de datos Gravimétricos y Magnéticos.

Por ultimo esto permitió conseguir la mejor versión del aplicativo desarrollado y así mismo quedar en versión de prueba para los futuros procesamientos con el objetivo de que el aplicativo se defina con una estándar dentro del **el Grupo de Trabajo Exploración de Recursos Geotérmicos del Servicio Geológico Colombiano (SGC).**

6.7. Fase 7. Elaboración de manuales o guías de usuario para cada una de las aplicaciones desarrolladas.

El aplicativo internamente se encuentra dividido en 4 aplicaciones de procesamiento **(Corrección de relajación, Calculo deriva, Correcciones y Magnetogramas)** y 2 de transformación de archivos **(Csv2Excel y Excel2Csv)**. Para la gene-

ración de los manuales de cada uno de los algoritmos se optó por la elaboración de un manual general que explicara la ejecución de los mismos a partir de los ejemplos, aparte de esto se formó una explicación clara y concisa del proceso de instalación del aplicativo y de la definición inicial del espacio de trabajo adjuntando sobre cada proceso una imagen que brindaría un entendimiento mayor al momento de ejecutar las funciones del manual.

Todavía es necesario someter el manual a un proceso de evaluación y pruebas dentro del **el Grupo de Trabajo Exploración de Recursos Geotérmicos del Servicio Geológico Colombiano (SGC).** En donde se pueda determinar que agregar y que quitar del mismo con el objetivo de que este sea lo más claro posible.

7. Descripción de los productos obtenidos

7.1. Configuración inicial

El software desarrollado lleva como nombre PGM debido a que su objetivo es el procesamiento de datos gravimétricos y magnéticos, al seleccionar cada una de las iniciales se obtuvo como nombre PGM. El desarrollo de este programa tomó cinco (5) meses para su completo desarrollo y cuenta con un instalador cuyo peso es de 34593831 Bytes o 32.9 Megabytes.



Figura 11: Icono instalador

Este instalador permite configurar el programa sobre las plataformas Windows con una arquitectura de 64 bits, este cuenta con dos lenguajes de instalación, el español que viene por defecto predeterminado y el inglés, además nos permite la generación de un icono dentro del escritorio que cuenta con el icono de un geoide y las iniciales PGM que indica que es el programa para la ejecución.



Figura 12: Icono Aplicativo

Al momento de ejecutar el programa el cuenta con una definición de ruta de trabajo, la cual le permitirá ubicarse directamente sobre la ruta la cual se encuentran los archivos con los cuales que requiere trabajar, igualmente se puede navegar por todo el equipo dentro de cada una de sus carpetas, pero siempre comenzará en la ruta definida de manera inicial.

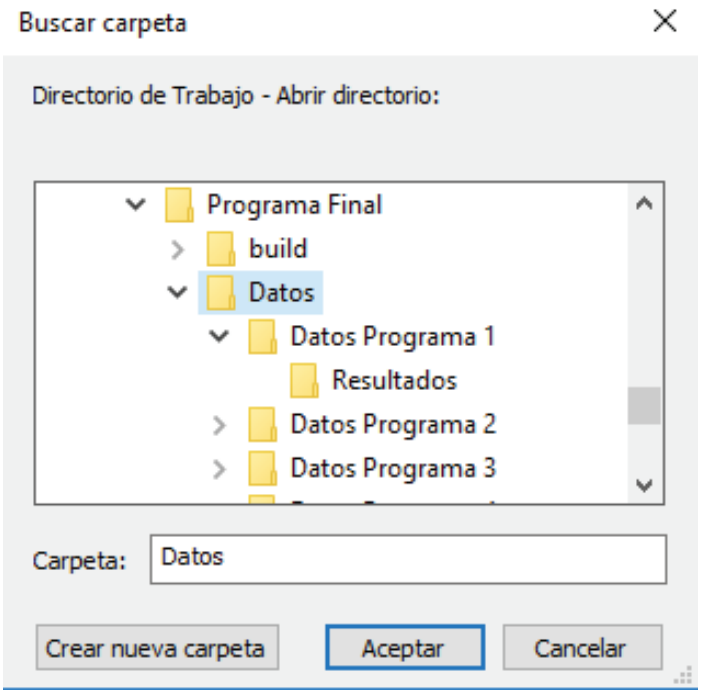


Figura 13: Directorio de Trabajo

Una vez se ha seleccionado la ruta de trabajo, se visualiza el menú principal de nuestro programa el cual contiene el logo del **Servicio Geológico Colombiano** en el centro, y en la parte superior se encuentran tres (3) menús dentro de los cuales se encuentra cada uno de los módulos para el procesamiento de los datos.



Figura 14: Menú principal aplicativo

El menú de gravimetría esta compuesto por cuatro ítems, los cuales son: Corrección de relajación, Cálculo deriva, Correcciones y Salir. El menú de magnetometría ésta compuesto por Magnetogramas y Salir, y por último el Módulo de conversión que cuenta con dos módulos: csv2excel y excel2csv.

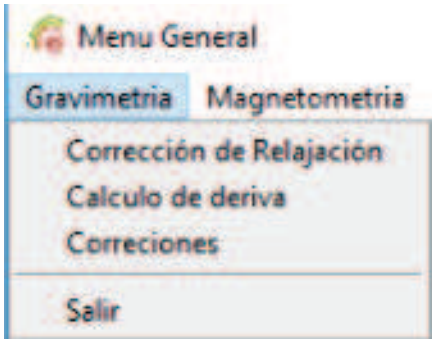


Figura 15: Menú Gravimetría

7.2. Corrección de relajación

Este módulo lo componen ocho (8) botones,dos (2) labels, la función de cada uno de los labels es indicar el estado del archivo que cargue de la información, toma un color naranja cuando no se cargó ningún archivo o este se encuentra dañado, amarillo es cuando no se le ha realizado ninguna acción y verde es la tonalidad que toma cuando la información ha sido subida de manera exitosa, junto con el nombre del archivo dentro del label.

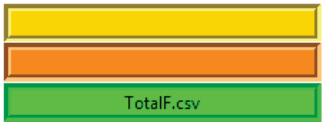


Figura 16: Niveles de carga de archivos

Los botones de TOTAL y BASE, tienen como función la subida de la información en formato .CSV, dentro de estos se le proporciona la ruta en donde se encuentra nuestro archivo y este generará una copia dentro del programa que permita la debida manipulación de los datos, el botón de TOTAL se encarga de los datos referentes a todos los móviles del levantamiento gravimétrico realizado y el botón que hace referencia a BASE, como su nombre lo indica procederá a manejar la información referente a todas las bases necesarias para su procesamiento, encontramos el botón de GENERAR que contempla el procesamiento de los datos como también la visualización gráfica del procedimiento realizado, con el objetivo de la validación y la verificación del operario quien se encuentra procesando los datos, al igual se cuenta con un botón de salida cuya función nos permite volver directamente al menú general para realizar otro procesamiento o con el objetivo de salir completamente del

programa, por último encontramos los botones de ayuda de cada uno de los elementos de procesamiento que cuentan con un signo de interrogación y que proporcionan guía para conocer la función de cada uno de los botones descritos anteriormente.

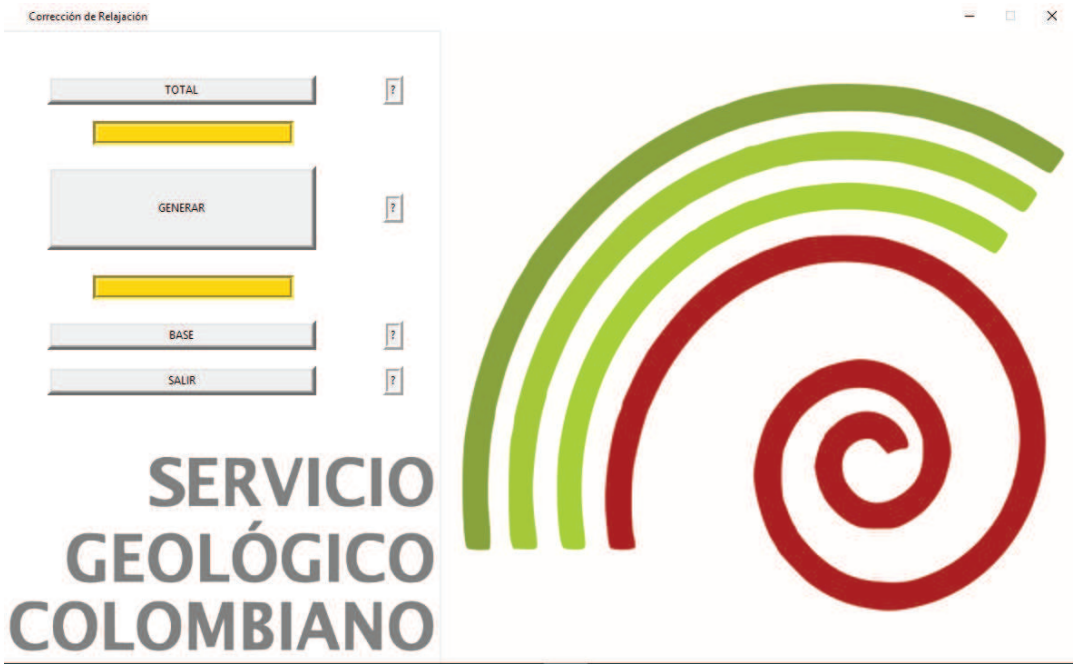


Figura 17: Menú inicial del módulo corrección de relajación

7.2.1. Procedimiento de ejecución

1. Cargar los archivos de total dentro del aplicativo
2. Cargar los archivos de Bases dentro del aplicativo
3. Seleccionar GENERAR para la ejecución del procesamiento
4. Guardar el archivo de resultado en formato .CSV
5. Verificar el letrero de procesamiento completado
6. Visualizar gráfica de corregidas en verde y sin corregir en rojo
7. Salir de la ventana para continuar con el siguiente procedimiento

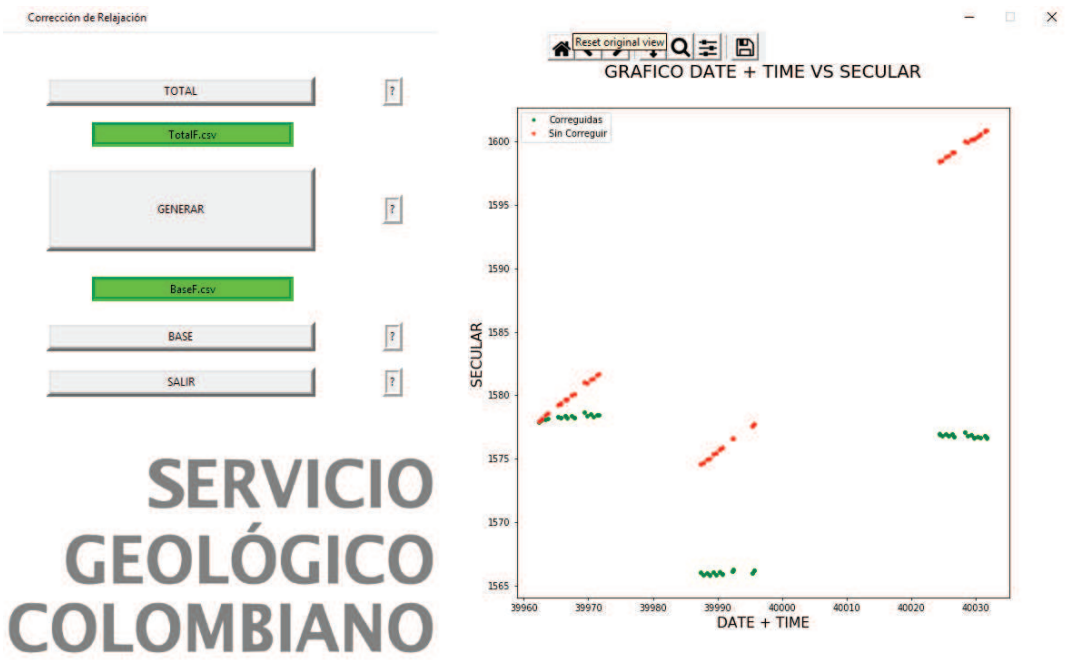


Figura 18: Menú Final del módulo corrección de relajación

7.3. Cálculo Deriva

Este módulo es la continuación del módulo de **Corrección de relajación**, dentro del módulo encontramos once (11) botones, dos (2) de ellos están enfocados al cargue de datos los cuales corresponden a los botones de TOTAL y BASE, que llevan a su lado los labels que como se explicó anteriormente indican el estado de los datos. Además encontramos de 6 botones que están dirigidos a brindar una guía para la utilización de las diferentes opciones de procesamiento que encontramos, además se cuenta con 3 cajas de selección y una ventana que permite visualizar las estaciones con las que se cuenta, todas las cajas de selección necesitan del botón FILTRAR para su correcto funcionamiento estas son: Eliminar Base, Igualar Base, Fecha Igual a la Base, las primera caja de selección lleva como nombre **Eliminar Base:** esta función permite eliminar la base que se escoja dentro de la ventana, esta ventana muestra las bases que se encuentran dentro del archivo previamente cargado por el botón de total. Al accionar esta caja de selección se actualizará la ventana que permite la visualización de las bases, descartando las bases previamente eliminadas. La segunda caja de selección corresponde a **Igualar Base:** esta selección se utiliza con el objetivo que el archivo ingresado tenga congruencia tanto en el inicio como en el final, al aplicarlo se buscará la última base que sea igual a la primera para así tener un procesamiento exitoso y poder cerrar la cartera de los datos. Por último, tenemos **Fecha Igual a la Base:** al igual que las previamente descritas, esta caja de selección funciona al estar seleccionada y al ejecutar el botón de filtrar, una vez ejecutado este algoritmo, el recorrerá toda la matriz de datos buscando en donde cada fecha contenga una única base, que en este caso eliminará los datos ya que

estos generarían errores al momento de ejecutar el procesamiento.

Por último tenemos los botones de SALIR que brindan la posibilidad de volver al menú principal para continuar con el procesamiento de datos o acceder a otro menú que se esté necesitando y el botón de PROCESAR que al aplicar los filtros anteriormente descritos genera los cálculos para así llegar al informe generado de manera automática dentro del aplicativo y en formato .PDF, en donde se encontrarán los datos del numero de datos eliminados por cada filtro, la gravedad máxima y mínima, y el error de cierre que nos permite tomar la decisión si los datos fueron procesados de la mejor manera.



Figura 19: Menú inicial del módulo Cálculo deriva

7.3.1. Procedimiento de ejecución

1. Cargar los datos de TOTAL
2. Aplicar filtro de Eliminar Base
3. Aplicar filtro de Igualar base
4. Aplicar filtro de Fecha Igual a la Base
5. Cargar los datos de Base
6. Procesar
7. Guardar el resultado en .CSV

8. Verificar letrero de procesamiento completado
9. Guardar la imagen de la distribución de las estaciones
10. Guardar el .PDF del informe generado
11. Visualizar .PDF de apertura automática o Imagen dentro del aplicativo.

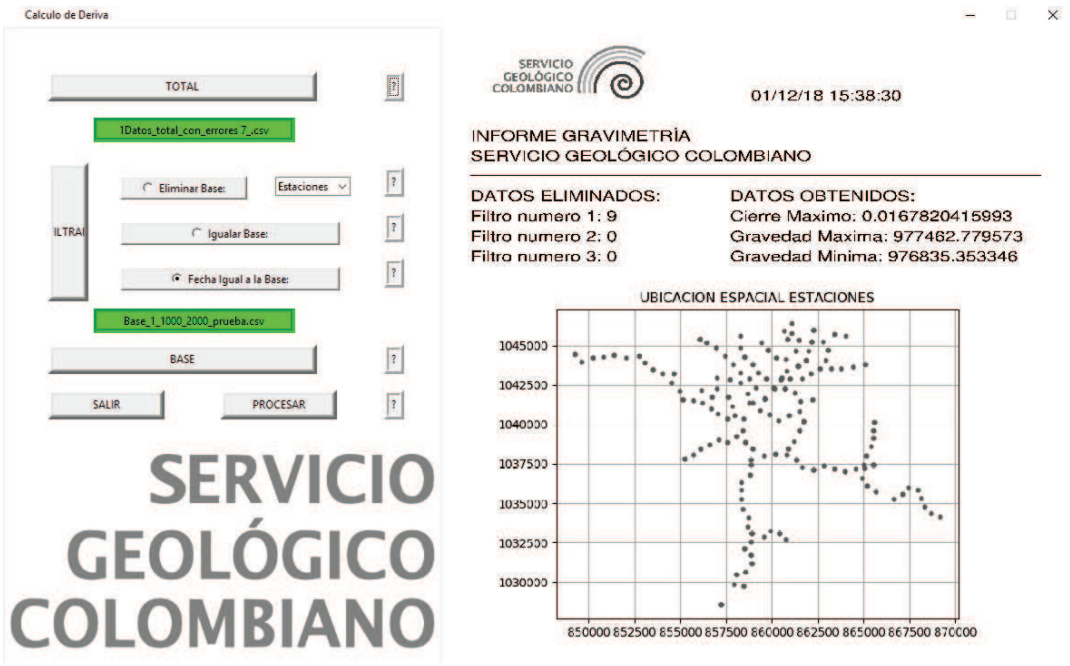


Figura 20: Menú Final del módulo Cálculo deriva

7.4. Correcciones

Este es el último módulo del menú de *Gravimetría*, lleva como nombre *correcciones* debido a que sobre este se aplican las correcciones finales para así obtener un valor preciso de gravedad, está compuesto por ocho botones de los cuales cuatro están enfocados a brindar una ayuda para la ejecución de las funciones de procesamiento que se mencionan a continuación.

El primero de los cuatro (4) botones de procesamiento es CARGAR ARCHIVO, el cual tiene como objetivo obtener la ruta del documento .CSV que contiene los datos de procesamiento, y a partir de este generar una copia al interior del programa, a su vez este botón funciona en conjunto con el label que se encuentra debajo del mismo; al igual que CARGAR ARCHIVO se encuentra el botón PROMEDIAR ARCHIVO que tiene como función coger la copia del archivo cargado y realizar un promedio de los valores obtenidos por estación para así definir un archivo mas corto y promediado de los datos. Este también cuenta con un label como el botón de CARGAR

ARCHIVO cuya función es indicar el estado de los datos que han sido cargados, amarillo para cuando no se ha utilizado el módulo, naranja para cuando el archivo quedó mal cargado o está corrupto y por último verde que indicará el nombre del archivo en su interior y permitirá saber que se ha realizado con éxito el proceso.

Por último, encontramos el botón de procesamiento (PROCESAR) que realiza los cálculos internos necesarios para así obtener una interpolación de la anomalía total de Bouguer.



Figura 21: Menú inicial del módulo Correcciones

7.4.1. Procedimiento de ejecución

- Seleccionar módulo de gravimetría.
- Seleccionar módulo de correcciones.
- Visualizar módulo y sus componentes.
- Seleccionar cargar archivo y la ruta en la que se encuentra.
- Seleccionar promediar archivo y la ruta deseada.
- Seleccionar PROCESAR.
- Verificar valor de densidad y cambiarlo en caso de no estar de acuerdo.
- Guardar .CSV de los resultados en la ruta deseada.
- Visualizar procedimiento completado.
- Verificar Interpolación.

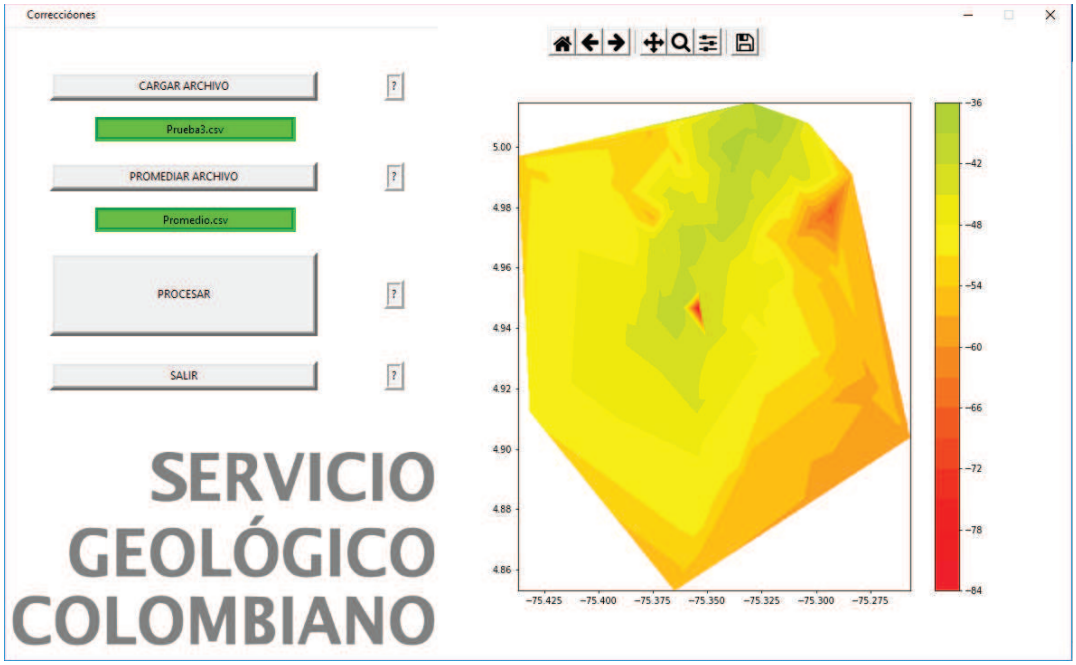


Figura 22: Menú Final del módulo Correcciones

7.5. Magnetogramas

Éste es uno de los aplicativos más complejos en su ejecución y su utilización debido a que su interfaz se puede dividir en dos aspectos, la primera parte que corresponde a los módulos de cargue de información y la segunda que hace referencia al tratamiento de los datos y la visualización de estos.

La primera parte esta compuesta por cuatro (4) botones de los cuales uno lleva el nombre de SALIR, que como su nombre lo indica, permite salir del aplicativo para volver al menú principal. Por otro lado, se encuentran los botones que nos permiten cargar la información como es el caso de CARGAR ARCHIVO, este botón va a cargar el archivo en formato .CSV y generar una copia dentro del programa que es manipulable y no genera cambios en el archivo original. El botón ORGANIZAR ARCHIVO selecciona la copia generada del .CSV y lo organiza a partir de las columnas de estación y fecha, para así poder aplicar el botón de PROCESAR el cual nos brindará la forma gráfica de la información trabajada anteriormente, los botones de CARGAR ARCHIVO Y ORGANIZAR ARCHIVO cuentan con un label que indicará cuando el proceso se ha realizado de manera correcta obteniendo un color verde o color naranja en el caso de que éste no funcione de la manera esperada.

La segunda parte del aplicativo se compone por ocho (8) botones, una ventana de selección y una barra de carga de datos, los primeros botones ANTERIOR MAGNETOGRAMA, ELIMINAR DATOS y SIGUIENTE MAGNETOGRAMA tienen

por objetivo visualizar el magnetograma anterior al que uno se encuentra, eliminar los datos que se seleccionen sobre el grafico y visualizar el siguiente magnetograma en el orden establecido por fecha de los datos. Por otro lado si se desea conservar los cambios realizados es necesario aplicar el botón GUARDAR, para así trabajar sobre los nuevos datos eliminados, en caso de querer volver al magnetograma inicial se cuenta con el botón de MAGNETOGRAMA ORIGINAL que nos devuelve a esta instancia. para exportar datos se necesita de dos botones, el primero que corresponde a EXP MAGNETOGRAMAS Y CSV, el cual nos otorga un archivo .CSV con los datos que quedaron después de la eliminación y un .PDF con los magnetogramas generados dentro del aplicativo. Por otro lado, el botón de EXP INTERPOLACIÓN Y CSV nos otorga un .CSV con cada una de las interpolaciones aplicadas a los magnetogramas, junto a su nivel de interpolación que se define a partir de la ventana desplegable y el botón INTERPOLAR dentro del aplicativo y además se obtiene un pdf que contiene todos los magnetogramas y las interpolaciones generadas sobre ellos. Por último, se encuentra la barra de cargue que se activa en el momento de exportación y avanza en la medida que se van generado los diferentes archivos.



Figura 23: Menú inicial del módulo Magnetogramas

7.5.1. Procedimiento de ejecución

1. Abrir el menú de magnetometría
2. Seleccionar la opción de MAGNETOGRAMAS
3. Visualizar ventana del aplicativo

4. Seleccionar CARGAR ARCHIVO
5. Seleccionar archivo a cargar
6. Seleccionar ORGANIZAR ARCHIVO
7. Seleccionar ruta a guardar el archivo
8. Seleccionar la opción PROCESAR
9. Verificar la obtención del magnetograma
10. Seleccionar el área de datos a eliminar
11. Seleccionar eliminar
12. Seleccionar guardar
13. Seleccionar el nivel de interpolación y la opción interpolar
14. Exportar los archivos deseados

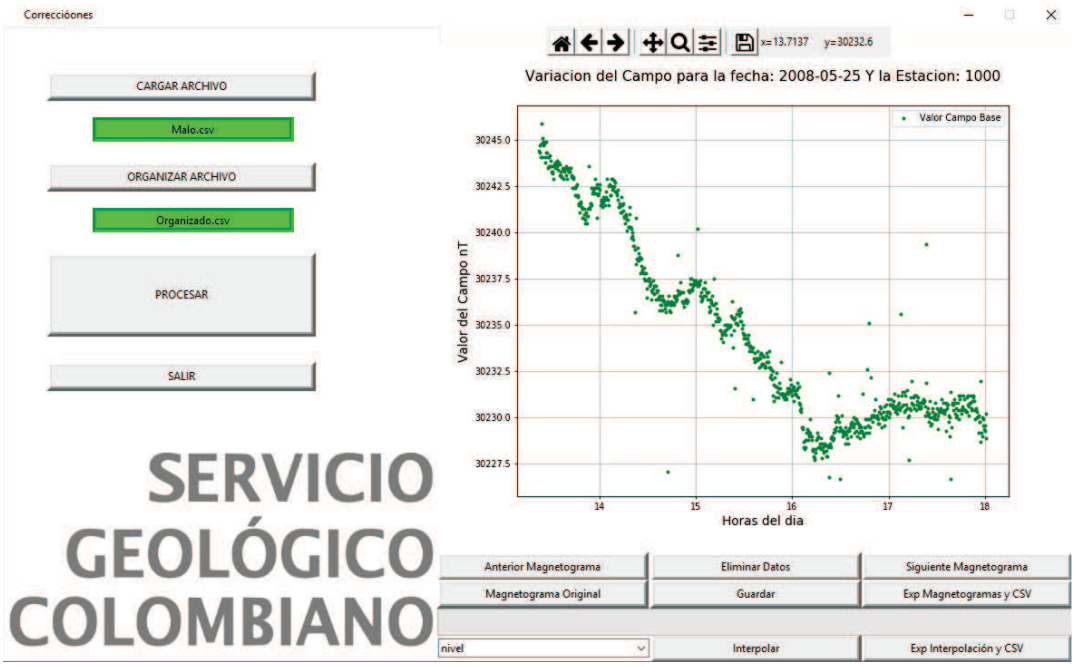


Figura 24: Menú Final del módulo Magnetogramas

7.6. Csv2excel

Este aplicativo al ser de transformación de datos cuenta con la interfaz gráfica más ligera de todos los mencionados con anterioridad, dentro del mismo se manejan las ventanas para el cargue de información y la de guardado de datos, por último, cuenta con un letrero de finalización del proceso que indica la terminación de dicha transformación.

7.6.1. Procedimiento de ejecución

1. Abrir el menú conversión dentro del menú general
2. Seleccionar csv2excel
3. Dentro de la ventana que se despliega seleccionar el archivo .CSV que se desea convertir
4. En la siguiente pestaña que se despliega, seleccionar la ruta y el nombre del archivo convertido a .XLSX
5. Verificar letrero de conversión completada y seleccionar aceptar
6. Acceder al archivo generado en la ruta especificada

7.7. Excel2csv

Al igual que el aplicativo mencionado anteriormente que corresponde a *Csv2excel*, este cuenta con una interfaz gráfica básica compuesta por la ventana de cargue de información y la de generación de la información que se validan al final con el letrero que indica la terminación de los procesos desarrollados.

7.7.1. Procedimiento de ejecución

1. Abrir el menú conversión dentro del menú general
2. Seleccionar excel2csv
3. Dentro de la ventana que se despliega seleccionar el archivo .XLS o .XLSX que se desea convertir
4. En la siguiente pestaña que se despliega, seleccionar la ruta y el nombre del archivo convertido a .CSV
5. Verificar letrero de conversión completada y seleccionar aceptar
6. Acceder al archivo generado en la ruta especificada.

8. Conclusiones

- El crecimiento de las diferentes tecnologías y el aumento en la demanda de manejo de grandes volúmenes de la información han generado la necesidad de la utilización de la programación para automatizar procesos y mejorar la ejecución de los mismos, como es el caso del procesamiento de datos gravimétricos y magnéticos dentro del Servicio Geológico Colombiano, el cual presenta una creciente acumulación de datos sin procesar. Razón por la cual el aplicativo desarrollado brinda una ayuda para la solución de esta problemática ya que este permite interpretar, analizar y procesar la información de manera rápida y precisa permitiendo así un aumento en el volumen de producción de resultados, como también un incremento en las interpretaciones dentro de las diferentes zonas de estudio que se manejan dentro de la institución.

- Dentro de cada uno de los procesos que se realizan día a día, encontramos los errores humanos. Los cuales llevan a la finalización de los procesos de manera errónea o a la disminución en la calidad y el aumento en el tiempo de ejecución, es por esta razón que se interpreta como la automatización de los procesos a partir de la generación de software permitió la mejora en la calidad del procesamiento y la disminución de errores humanos que afectan el desempeño de los datos en la medida que estos son procesados.

- El manejo de datos siempre necesita de una correcta manipulación debido a que estos pueden generar resultados erróneos al no ser utilizados de la manera correcta, dentro de los mismos se requiere una combinación entre un componente estadístico y experiencia en su manejo, debido a que los datos tienden a presentar una alta variabilidad entre las diferentes zonas. Por esta razón se entiende que los datos gravimétricos y magnéticos presentan diferencias en sus diferentes procesamientos debido a las siguientes razones: a la zona de captura, el equipo con el cual fueron capturados los datos, el clima que se presento en la zona en el momento de captura y muchas otras variables que no se pueden limitar ni dejar de analizar ya que la calidad de la interpretación dependerá de un adecuado análisis de los datos, razón por la cual se consuma la idea de que la automatización brinda un apoyo en un alto porcentaje para el tratamiento de los datos. Como también se entiende la necesidad del seguimiento de los diferentes procesos por medio de personal con la debida experiencia para la identificación de casos atípicos que pueden llevar a casos erróneos de interpretación.

- Dentro del desarrollo del programa se encontraron dos puntos importantes a analizar: el primero, los formatos de entrada y salida para el software y el segundo, los nombres de las cabeceras que llevarían estos formatos, al ver estas problemáticas que se presentaron, se entendió la necesidad por generar una estandarización de la información y además proporcionar los mecanismos para la transformación de formatos; lo que le brindara un acceso universal.

9. Recomendaciones

- La magnetometría es una disciplina que requiere un alto nivel de procesamiento y adquisición de alta calidad para alcanzar el objetivo de entender los cuerpos que encontramos por debajo del subsuelo. Razón por la cual el procesamiento de estos datos necesita apoyarse en diversas herramientas, como es el caso del IGRF (International Geomagnetic Reference Field) el cual es proporcionado por el NOAA en su página web. Cabe resaltar que también proporcionan el código fuente para su cálculo en el lenguaje de programación Fortran, el cual debería implementarse dentro del aplicativo permitiendo así avanzar en la automatización del procesamiento de datos magnéticos, suministrando disminución en el tiempo de procesamiento y exactitud en la calidad de los datos procesados.

- Dentro del software desarrollado para la ejecución de algoritmos de gravedad observada, densidad de reducción y de magnetogramas se desarrolló un algoritmo que identifica las columnas necesarias para el procesamiento de manera automática, esto facilita el procesamiento de los datos ya que siempre y cuando se cumpla con los criterios de las cabeceras el programa empareja claramente cada una de las columnas. Pero esta situación también genera la necesidad de la implementación de una herramienta que permita verificar y seleccionar las columnas correctas en el caso de cometer errores humanos en la generación de los nombres de las columnas mencionadas. Es por esta razón que se sugiere la implementación en ventanas que brinden la posibilidad de visualizar los primeros datos del archivo y que a su vez brinden la posibilidad de seleccionar las columnas de manera interactiva con el objetivo de tener un procesamiento correcto y evitar errores en el momento de la generación sobre los formatos.

- Dentro del programa se encuentran dos componentes principales, el componente de procesamiento y el de visualización, sobre el componente de visualización se recomienda la adición de diferentes modelos de interpolación en donde el usuario tenga la posibilidad de interpretar y analizar cuál es el más conveniente para la interpretación de los resultados obtenidos, como también se hace necesario definir una escala de colores o brindarle al usuario final la posibilidad de manipulación de esta escala de colores para así obtener la mayor posibilidad de manipulación e interpretación de la interpolación final.

- Al ver la importancia que se tiene al automatizar los diferentes métodos de procesamiento de datos y manipulación de archivos se crea la necesidad de incrementar dentro de la Dirección Técnica de Geociencias Básicas – Grupo de Trabajo Exploración de recursos Geotérmicos del Servicio Geológico Colombiano la producción de software y algoritmos que permitan la optimización de los procesos y a su vez brinden la posibilidad de obtener resultados de manera más rápida y con un porcentaje superior de calidad al disminuir los errores humanos en el manejo de las diferentes metodologías.

10. Anexos

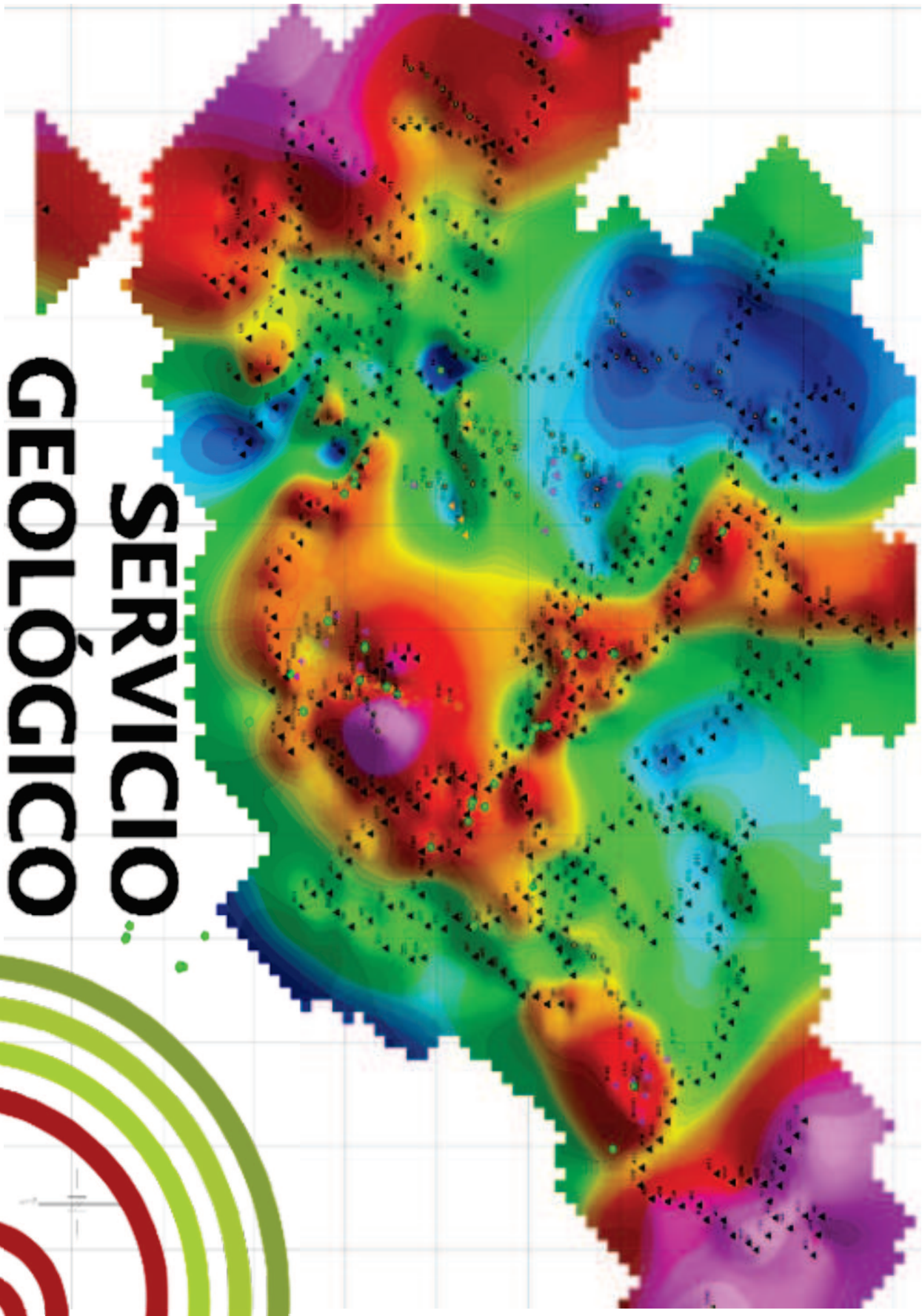
10.1. Manual

Este manual tiene por objetivo permitirle al usuario introducirse en el procesamiento de datos relacionados con gravedad observada, densidad de reducción y magnetogramas. Se encuentra dividido en los módulos de:

- Instalación
- Formatos iniciales
- Configuración inicial
- Gravimetría
- Magnetometría
- Conversión

Estos módulos fueron desarrollados para facilitar la ejecución del aplicativo y así por medio de un ejemplo mostrar la funcionalidad del programa. Dentro del módulo de instalación se encuentra el procedimiento para ser realizado dentro del sistema operativo Windows con una arquitectura de 64 bits para su correcto funcionamiento, por otro lado se muestran de manera gráfica los formatos iniciales de cada uno de los módulos que componen el aplicativo, la configuración inicial explica cómo definir la ruta de trabajo que facilita el uso dentro del aplicativo, el menú de gravimetría se encarga de la corrección de relajación, el cálculo de deriva y por último de la aplicación de las correcciones y así obtener la interpolación de los datos. La magnetometría que es uno de los módulos más completos y complejos ya que este cuenta con una doble interfaz, la primera encargada del cargue y organización de la información, la segunda que tiene como objetivo la limpieza y aplicación de las diferentes correcciones sobre los datos.

Para el desarrollo de la mayoría de los algoritmos internos de cada uno de los módulos fue necesario apoyarse en la información suministrada por el Grupo de Trabajo Exploración de Recursos Geotérmicos del Servicio Geológico Colombiano, en donde otorgaron algoritmos desarrollados en el software GNU/Octave [Beltran Luque, 2017] , los cuales fueron analizados, articulados y acoplados al lenguaje de programación Python sobre el cual se desarrolló la interfaz gráfica y la unión de los algoritmos mencionados.



SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO

MANUAL PROCESAMIENTO DE DATOS GRAVIMETRICOS Y MAGNETICOS EN EL SOFTWARE PGM

MANUAL PROCESAMIENTO DE DATOS GRAVIMÉTRICOS Y MAGNÉTICOS EN EL SOFTWARE PGM

AUTOR:

JHON ALEXANDER GALINDO AMBUILA





UNIVERSIDAD DISTRITAL
FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS

FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CATASTRAL Y GEODESIA

Bogotá D.C.
2017

Tabla de Contenido Manual

1 Instalación **49**

2 Formatos Iniciales **51**
2.1 Correción de relajación 51
2.1.1 Total 51
2.1.2 Base 52
2.2 Cálculo deriva 52
2.2.1 Total 52
2.2.2 Base 53
2.3 Correciones 53
2.4 Magnetogramas 54

3 Configuracion inicial **55**

4 Gravimetría **56**
4.1 Correción de relajación 56
4.2 Cálculo deriva 61
4.3 Correciones 68

5 Magnetometría **73**
5.1 Magnetogramas 73

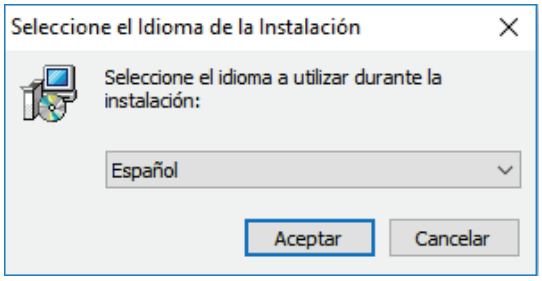
6 Conversión **83**
6.1 csv2excel 83
6.2 excel2csv 86

1. Instalación

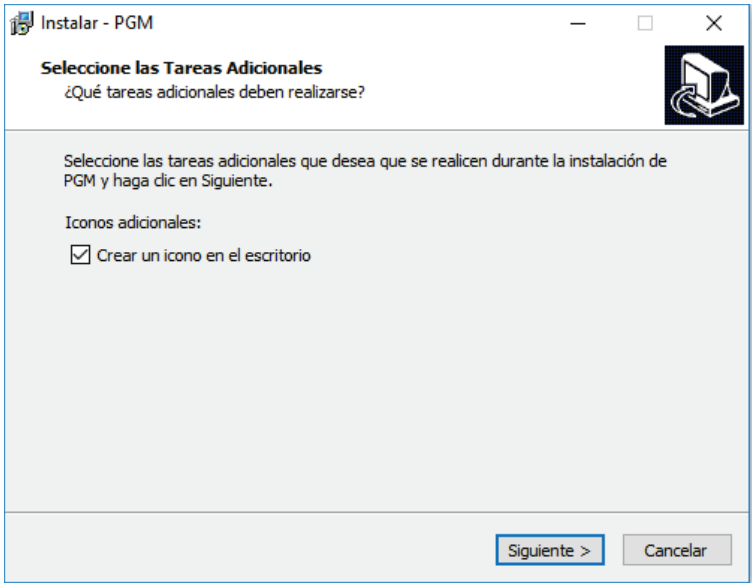
1. Doble click sobre el icono de instalación.



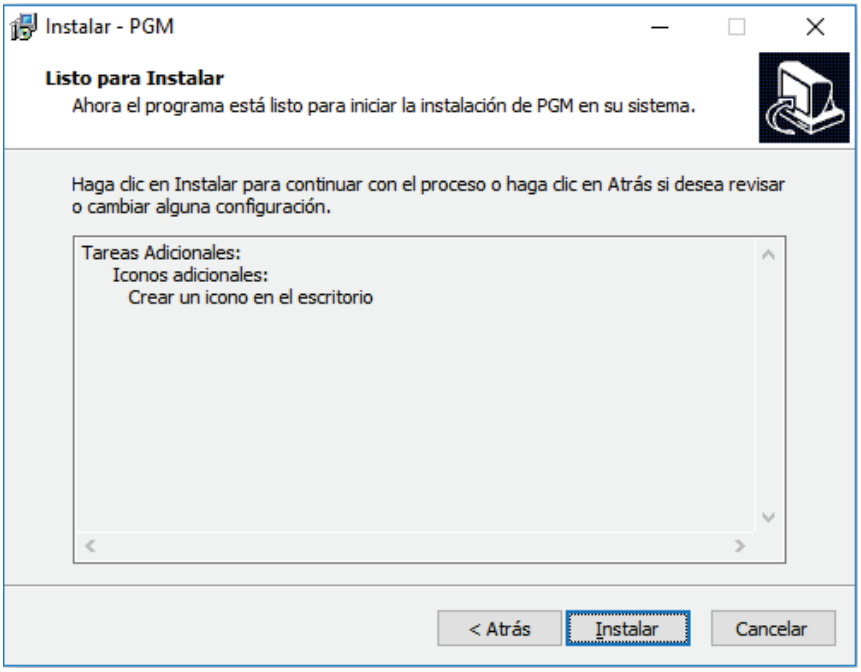
2. Seleccionar el idioma de instalación (español o ingles) y aceptar.



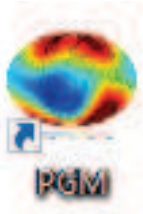
3. Click crear un icono en el escritorio y siguiente.



4. Click en instalar.



5. Verificar icono de instalación en el escritorio.



2. Formatos Iniciales

2.1. Correción de relajación

2.1.1. Total

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Station	Date	Time	Latitude	Longitude	X	Y	Elevation	Reading	SD	ETC	Date+Time
2	1000	39962	0,3567361	5,75535	-73,108112	1107377,31912	1128273,77418	2499,6145	1577,912	0,035	-0,012	39962,35674
3	1000	39962	0,3578009	5,75535	-73,108112	1107377,31912	1128273,77418	2499,6145	1577,91	0,026	-0,013	39962,3578
4	1000	39962	0,3584144	5,75535	-73,108112	1107377,31912	1128273,77418	2499,6145	1577,911	0,027	-0,013	39962,35841
5	1000	39962	0,3589931	5,75535	-73,108112	1107377,31912	1128273,77418	2499,6145	1577,91	0,031	-0,014	39962,35899
6	57	39962	0,4052662	5,73378	-73,131743	1104763,5675	1125883,65677	2506,4615	1567,461	0,041	-0,03	39962,40527
7	57	39962	0,4061227	5,73378	-73,131743	1104763,5675	1125883,65677	2506,4615	1567,461	0,027	-0,031	39962,40612
8	57	39962	0,407419	5,73378	-73,131743	1104763,5675	1125883,65677	2506,4615	1567,468	0,021	-0,031	39962,40742
9	57	39962	0,4082176	5,73378	-73,131743	1104763,5675	1125883,65677	2506,4615	1567,465	0,024	-0,031	39962,40822
10	57	39962	0,4094444	5,73378	-73,131743	1104763,5675	1125883,65677	2506,4615	1567,468	0,031	-0,031	39962,40944

2.1.2. Base

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L
1	Station	Date	Time	Latitude	Longitude	X	Y	Elevation	Reading	SD	ETC	Date+Time
2	1000	39962	0,3567361	5,75535	-73,108112	1107377,31912	1128273,77418	2499,6145	1577,912	0,035	-0,012	39962,35674
3	1000	39962	0,3578009	5,75535	-73,108112	1107377,31912	1128273,77418	2499,6145	1577,91	0,026	-0,013	39962,3578
4	1000	39962	0,3584144	5,75535	-73,108112	1107377,31912	1128273,77418	2499,6145	1577,911	0,027	-0,013	39962,35841
5	1000	39962	0,3589931	5,75535	-73,108112	1107377,31912	1128273,77418	2499,6145	1577,91	0,031	-0,014	39962,35899
6	1000	39962	0,779456	5,75535	-73,108112	1107377,31912	1128273,77418	2499,6145	1578,113	0,025	0,08	39962,77946
7	1000	39962	0,7801157	5,75535	-73,108112	1107377,31912	1128273,77418	2499,6145	1578,117	0,034	0,079	39962,78012
8	1000	39962	0,7807755	5,75535	-73,108112	1107377,31912	1128273,77418	2499,6145	1578,118	0,021	0,079	39962,78078
9	1000	39962	0,7814468	5,75535	-73,108112	1107377,31912	1128273,77418	2499,6145	1578,122	0,024	0,078	39962,78145
10	1000	39962	0,7820255	5,75535	-73,108112	1107377,31912	1128273,77418	2499,6145	1578,122	0,02	0,078	39962,78203

2.2. Cálculo deriva

2.2.1. Total

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1	STATION	ALT	GRAV	SD	TILTX	TILTY	TEMP	TIDE	DUR	REJ	TIME	DEC.TIME+DATE	TERRAIN	DATE	Date+Time	Grav+ETC	Read_SEC	X	Y	Z
2	1000	31,2986	1330142	89	1	0	-0,94	123	20	0	0,521875	3602,52104	0	40221	40221,52188	1330265	1330,24151367436	859598,0681	1041619,655	3898,225
3	1000	31,0545	1330141	87	2,4	1,6	-0,94	122	20	0	0,522280093	3602,52144	0	40221	40221,52228	1330263	1330,23938182131	859598,0681	1041619,655	3898,225
4	1000	30,8103	1330,14	66	4,9	1,7	-0,95	122	20	0	0,522800926	3602,52196	0	40221	40221,5228	1330262	1330,23821041233	859598,0681	1041619,655	3898,225
5	1000	29,8338	1330141	27	-1,5	3	-0,97	121	20	2	0,524409722	3602,52357	0	40221	40221,52441	1330262	1330,23767970378	859598,0681	1041619,655	3898,225
6	2	25,4393	1432815	29			-0,7	-61	20	0	0,683865741	3602,68277	0	40221	40221,68387	1432754	1432,67711648292	859598,0681	1041619,655	3898,225
7	2	25,4393	1432812	47			-0,71	-61	20	0	0,684236111	3602,68314	0	40221	40221,68424	1432751	1432,67399451885	859598,0681	1041619,655	3898,225
8	2	25,1951	1432815	86	1,7	2	-0,72	-61	20	0	0,684594907	3602,6835	0	40221	40221,68459	1432754	1432,67687914743	859598,0681	1041619,655	3898,225
9	2	24,7068	1432812	37	0,9	-2,5	-0,76	-62	20	0	0,685428241	3602,68433	0	40221	40221,68543	1432,75	1432,67260225601	859598,0681	1041619,655	3898,225
10	2	24,7068	1432812	38	2,9	-5,5	-0,78	-62	20	1	0,685787037	3602,68469	0	40221	40221,68579	1432,75	1432,67248358825	859598,0681	1041619,655	3898,225

2.2.2. Base

	A	B	C	D	E	F	G
1	PUNTO	LAT	LON	ALTURA_FIN	X_MAGNA	Y_MAGNA	Gobs
2	1	5,06394295	-75,31142775	3482,07	863162,7604	1051854,051	977229,07
3	1000	4,97135398	-75,34338853	3898,225	859598,0681	1041619,655	977130,104
4	2000	4,85318543	-75,36495235	4107,253	857180,8221	1028553,638	977064,4655

2.3. Correciones

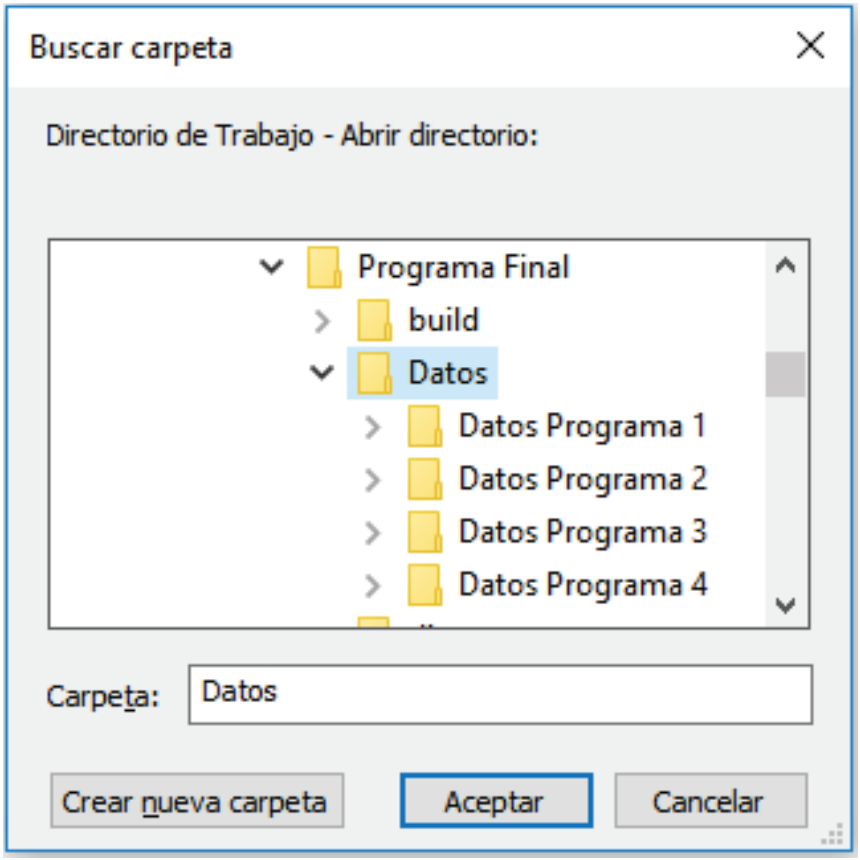
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
1	STATION	ALT	GRAV	SD	TILTX	TILTY	TEMP	TIDE	DUR	REJ	TIME	DEC.TIME+DATE	TERRAIN	DATE	Date+Time	Grav+ETC	Sec_GRAV	X	Y	Z	Long	Lat	Gravedad Observada
2	2	25,4393	1432,815	0,029	-1,5	0,1	-0,7	-0,061	20	0	0,68386574	3602,68277	0	40221	40221,6839	1432,754	1432,677116	861065,951	1046398,79	3464,21	-75,33023815	5,01458664	977232,7041
3	2	25,4393	1432,812	0,047	0	-0,2	-0,71	-0,061	20	0	0,684236111	3602,68314	0	40221	40221,6842	1432,751	1432,674	861065,951	1046398,79	3464,21	-75,33023815	5,01458664	977232,7041
4	2	25,1951	1432,815	0,086	1,7	2	-0,72	-0,061	20	0	0,68459491	3602,6835	0	40221	40221,6846	1432,754	1432,67688	861065,951	1046398,79	3464,21	-75,33023815	5,01458664	977232,7041
5	2	24,7068	1432,812	0,037	0,9	-2,5	-0,76	-0,062	20	0	0,68542824	3602,68433	0	40221	40221,6854	1432,75	1432,6726	861065,951	1046398,79	3464,21	-75,33023815	5,01458664	977232,7041
6	2	24,7068	1432,812	0,038	2,9	-5,5	-0,78	-0,062	20	1	0,68578704	3602,68469	0	40221	40221,6858	1432,75	1432,67248	861065,951	1046398,79	3464,21	-75,33023815	5,01458664	977232,7041
7	3	23,4861	1414,206	0,015	-2,4	-2,8	-0,7	-0,079	20	0	0,71618056	3602,71503	0	40221	40221,7162	1414,127	1414,03947	861075,254	1045781,48	3542,284	-75,33014365	5,00900574	977214,1002
8	3	23,242	1414,204	0,015	-2,6	-4,3	-0,7	-0,079	20	1	0,71655093	3602,7154	0	40221	40221,7166	1414,125	1414,03734	861075,254	1045781,48	3542,284	-75,33014365	5,00900574	977214,1002
9	3	22,9979	1414,206	0,019	-1,5	-2	-0,7	-0,079	20	0	0,71719907	3602,71605	0	40221	40221,7172	1414,127	1414,03913	861075,254	1045781,48	3542,284	-75,33014365	5,00900574	977214,1002
10	3	22,7537	1414,207	0,02	-1,5	-3,2	-0,71	-0,079	20	0	0,71755787	3602,71641	0	40221	40221,7176	1414,128	1414,040011	861075,254	1045781,48	3542,284	-75,33014365	5,00900574	977214,1002

2.4. Magnetogramas

	A	B	C	D	E	F
1	Line	Station	Date	Hour (fraccion)	Field	Hora (hh:mm:ss)
2	0	1000	39593	13,36638889	30244,4	0,55693287
3	0	1000	39593	13,37194444	30244,3	0,557164352
4	0	1000	39593	13,3775	30244,7	0,557395833
5	0	1000	39593	13,38305556	30244,1	0,557627315
6	0	1000	39593	13,38861111	30244,8	0,557858796
7	0	1000	39593	13,39416667	30245,9	0,558090278
8	0	1000	39593	13,39972222	30244,1	0,558321759
9	0	1000	39593	13,40527778	30245,1	0,558553241
10	0	1000	39593	13,41083333	30244,9	0,558784722

3. Configuracion inicial

El software PGM en su modulo inicial configura una ruta predefinida la cual se considera como la ruta de trabajo, esto con el objetivo de llegar a los archivos de manera más rápida y optima, sin necesidad de repetir la misma ruta para el cargue de información. Dentro de este modulo seleccionamos la ruta de trabajo y seleccionamos aceptar.



4. Gravimetría

El módulo gravimetría se encuentra compuesto por los aplicativos de: corrección de relajación, cálculo deriva y correcciones, este menú tiene como objetivo la medición del campo de gravedad a partir del potencial gravitacional y es aplicado en las ciencias de la tierra tales como la geodesia y la geofísica las cuales buscar definir la forma de la tierra a partir de sus parámetros geométricos y físicos.

4.1. Correción de relajación

este aplicativo se encuentra compuesto por 8 botones, de los cuales 4 tienen el objetivo de funcionar como una guía rápida para la correcta utilización del aplicativo, además encontramos dos labels que sirven como indicador del cargue de los archivos, el primer botón que corresponde a total permite subir todos los datos de los móviles al aplicativo y a partir del label que le sigue se puede identificar si l información se cargó de manera correcta, seguido tenemos el botón de base que permite cargar la información referente a las bases de los móviles, y al igual que en el caso de total, cuenta con un label que indica si la información ha sido cargada de manera correcta. Cuando ya contamos con los dos labels indicando el color verde se procede a la utilización del botón generar que permite realizar el procesamiento de los datos y nos otorga una gráfica la cual presenta los datos sin corregir y los datos corregidos, por último, está el botón salir que nos permitirá volver a nuestro menú principal para continuar con nuestro procesamiento de datos en cualquier otro ítem del aplicativo.

1. Seleccionar módulo de gravimetría.



2. Seleccionar modulo de corrección de relajación



3. Visualizar modulo y sus componentes



4. Seleccionar total y cargar archivo



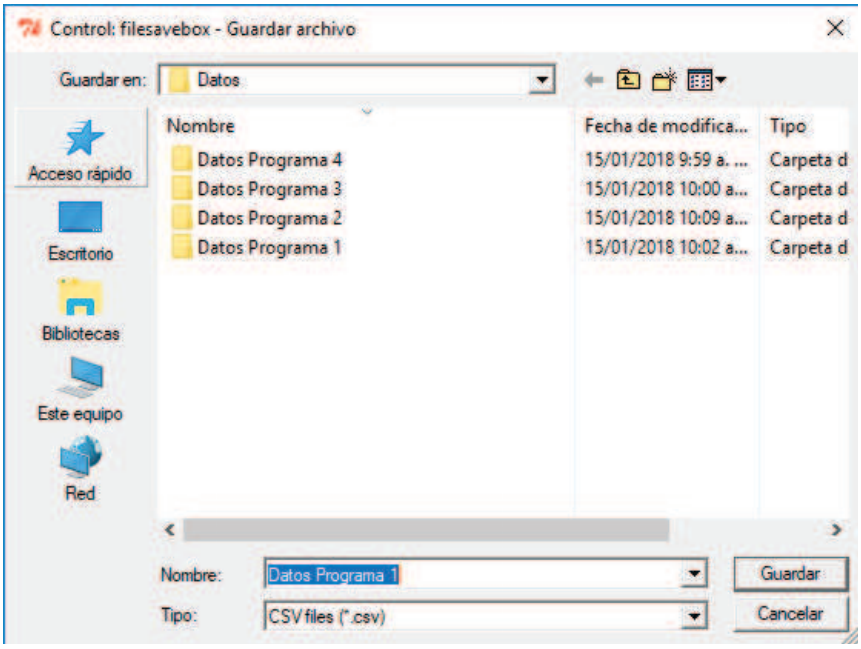
5. Seleccionar Base y cargar archivo



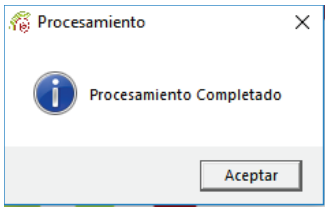
6. Seleccionar generar



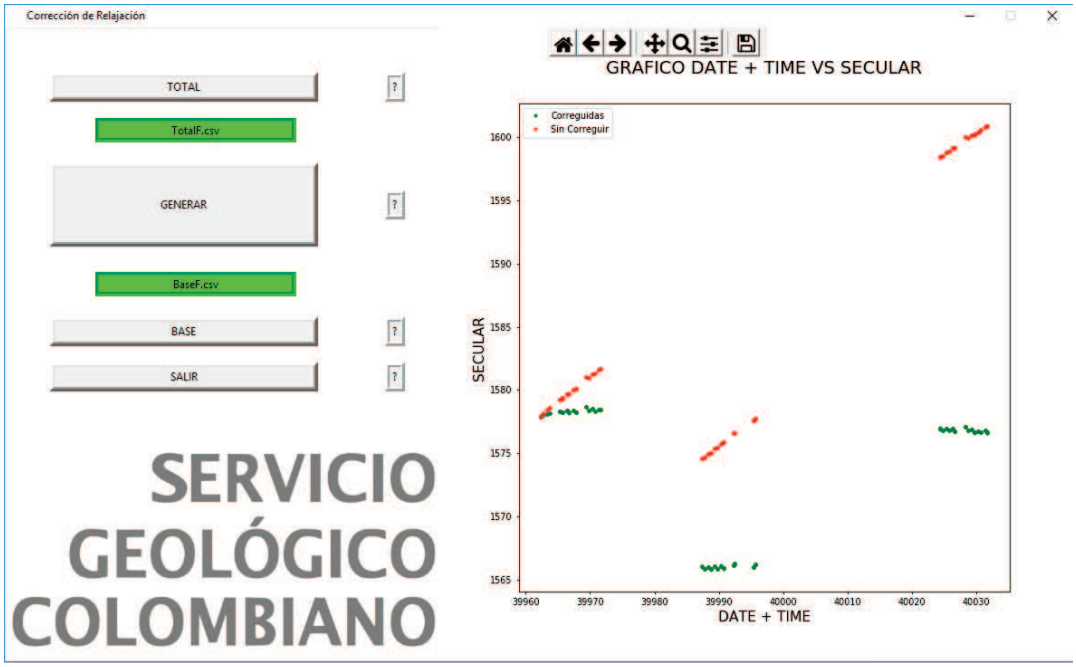
7. Guardar resultados en la ruta que desee



8. Visualizar procesamiento completado



9. Verificar corrección en grafico



4.2. Cálculo deriva

esta parte del aplicativo tiene una composición diferente a la anterior, dentro de la misma encontramos 5 botones para el procesamiento de los datos y 6 que sirven de ayuda para la ejecución de este, también vemos 3 seleccionadores que se explicaran más adelante, dentro de este aplicativo encontramos al igual que en el anterior nuestro botón de total y nuestro botón de base que nos permiten cargar el total de móviles, y las bases necesarias para el procesamiento de los datos. Estos botones se encuentran acompañados de los dos labels que funcionan para la verificación que los archivos cargados, sean los correctos. En el aplicativo encontramos el botón filtrar que funciona a medida que se seleccionan alguna de las 3 opciones que permiten filtrar datos: Eliminar Base, Igualar Base y Fecha igual a la Base. Esta opción nos permite filtrar y eliminar los datos que se están trabajando sin dañar la integridad de los datos iniciales, por ultimo encontramos nuestro botón salir y el botón procesar, en donde el botón salir nos brinda la posibilidad de volver al menú principal de nuestro aplicativo y el botón procesar que nos permitirá guardar nuestro datos obtenidos en csv, una imagen de la ubicación espacial de las estaciones y un informe en formato pdf que encontraremos dentro del aplicativo con el número de datos eliminados por cada filtro, el cierre máximo, la gravedad máxima y la gravedad mínima de los puntos procesados

1. Seleccionar módulo de gravimetría.



2. Seleccionar módulo de Cálculo deriva



3. Visualizar modulo y sus componentes.



4. Seleccionar total y cargar archivo.



5. Seleccionar Base y cargar archivo.



6. Aplicar filtro 1 para eliminar las bases que se consideren erróneas para el procesamiento.



7. Aplicar filtro 2 para igualar la base inicial con la base final del archivo.



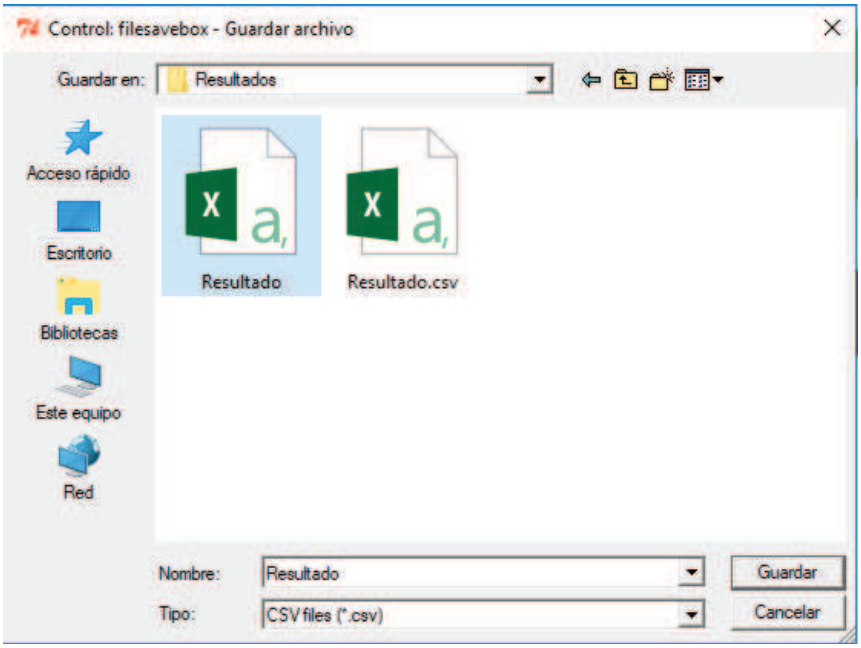
8. Aplicar filtro 3 para eliminar los datos que tienen misma base y misma fecha.



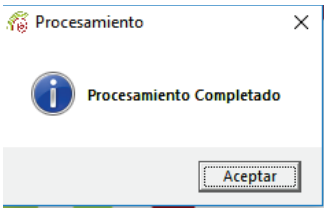
9. Seleccionar procesar.



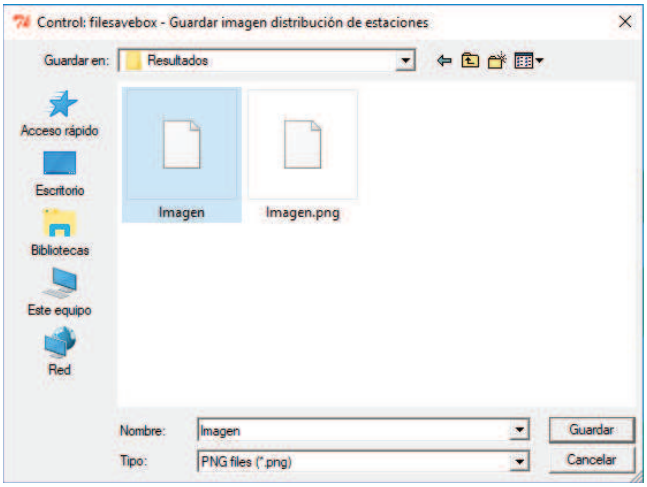
10. Guardar csv de los resultados en la ruta deseada.



11. Visualizar procesamiento completado.



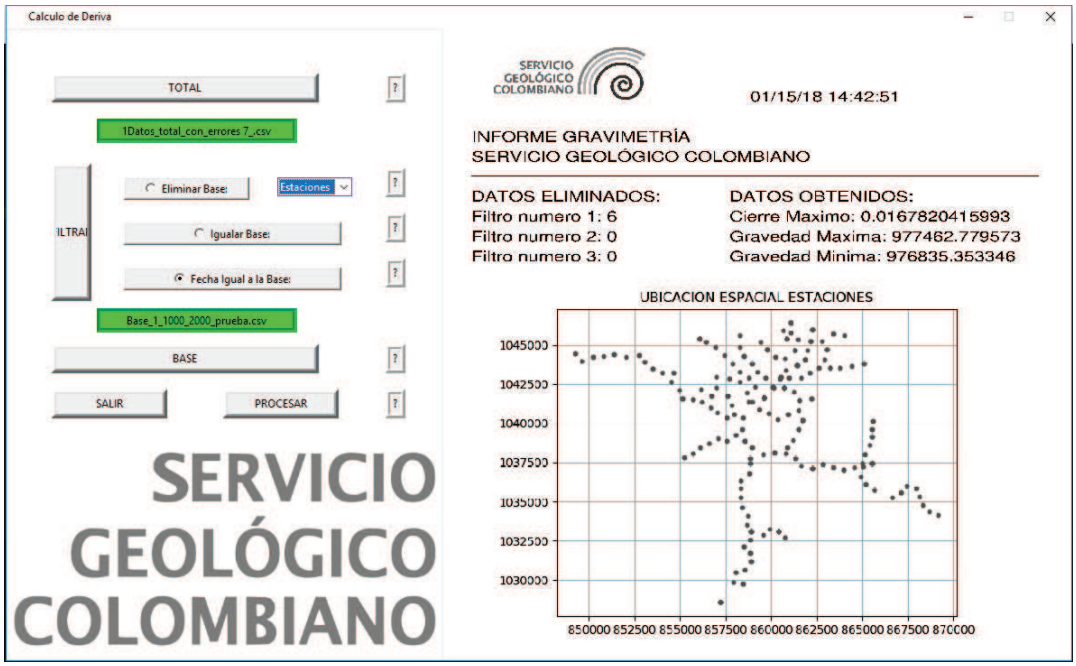
12. Guardar png de las estaciones en la ruta deseada.



13. Guardar pdf del informe en la ruta deseada.



14. Revisar pdf del procesamiento realizado.



4.3. Correciones

Dentro de esta parte del aplicativo se finaliza el componente de gravimetría, al igual que el primer aplicativo, esta interfaz cuenta con 8 botones de los cuales 4 tienen como objetivo orientar a las personas para trabajar sobre el mismo; por otro lado se encuentran los botones necesarios para el procesamiento, el botón de cargar archivo está diseñado para cargar los móviles ya procesados con anterioridad en el aplicativo anterior y generar una copia virtual de los datos que permita la manipulación de los mismo sin riesgo a perdida de la información, seguido encontramos el label que nos brinda la información si el archivo que se desea cargo de manera correcta o no, el siguiente botón que se llama promediar archivo, como su nombre lo indica promedia los datos de cada móvil, obteniendo una archivo resumido con los datos promediados, y por último se encuentra el botón de procesamiento que a partir de la aplicación de los algoritmos mencionados con anterioridad realiza el cálculo de la densidad y le da la opción al usuario si mantiene ese valor o lo cambia por otro, para así obtener la grilla referente a la anomalía de Bouguer total.

1. Seleccionar módulo de gravimetría.



2. Seleccionar módulo de correcciones.



3. Visualizar modulo y sus componentes.



4. Seleccionar cargar archivo y seleccionar la ruta en donde se encuentra.



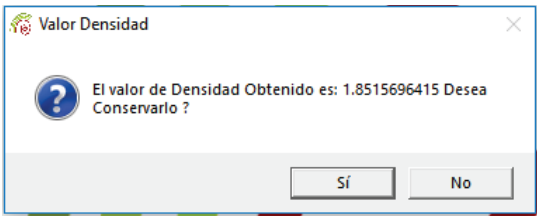
5. Seleccionar promediar archivo y seleccionar la ruta deseada.



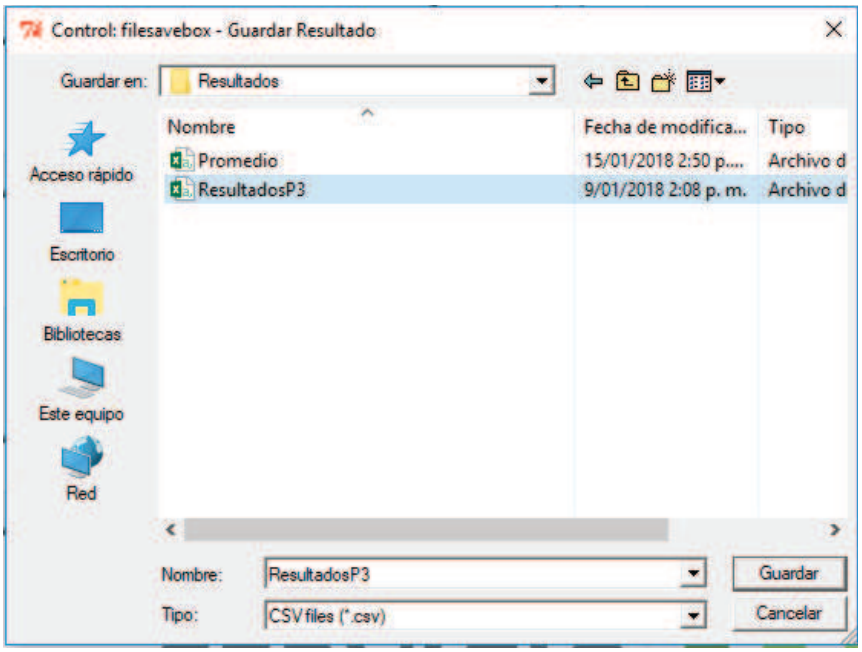
6. Seleccionar procesar.



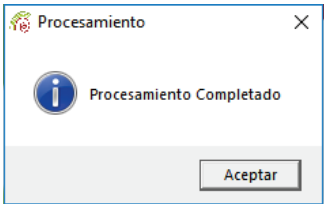
7. Verificar valor de densidad y cambiarlo en caso de no estar de acuerdo.



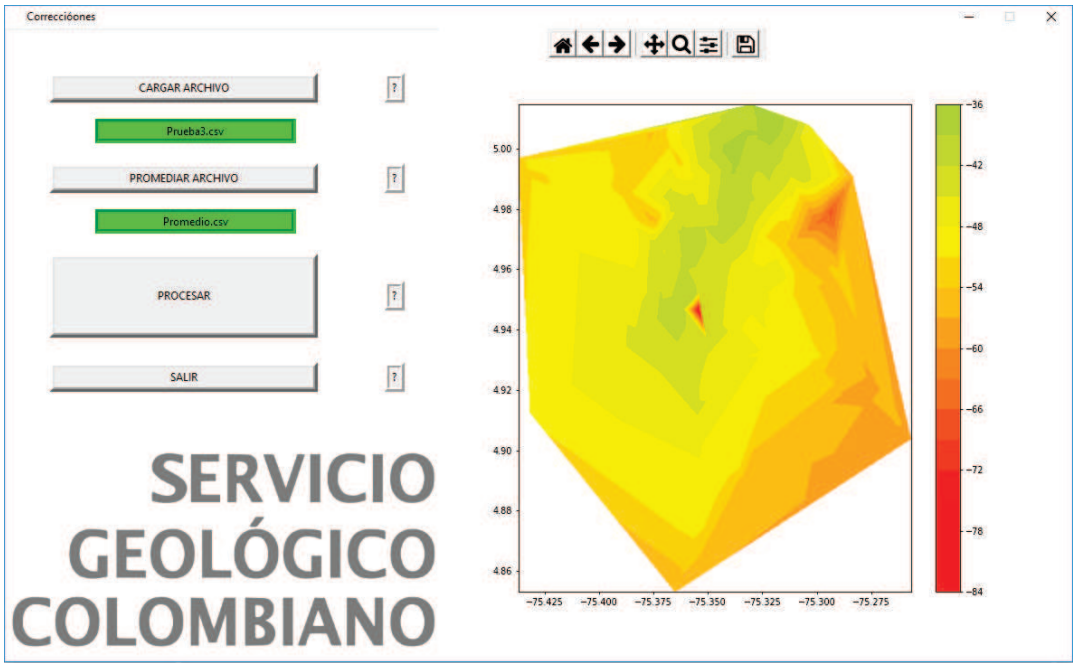
8. Guardar csv de los resultados en la ruta deseada.



9. Visualizar procesamiento completado.



10. Verificar interpolación.



5. Magnetometría

El módulo de Magnetometría está enfocado a la organización de los archivos iniciales desde la toma de datos, para así obtener la visualización de cada uno por estación y por época, al tener la visualización, el objetivo del modulo es realizar una limpieza de los datos de cada magnetograma generado para así aplicar una interpolación que se ajuste de mejor manera a los datos o descartar un magnetograma donde los datos no son útiles para el procesamiento. Por último, al exportar estos datos con la media de las interpolaciones realizar la corrección de variación diurna y así poder generar la interpolación de los datos después de haber aplicado el IGRF sobre los mismos.

5.1. Magnetogramas

En esta parte del aplicativo se encuentra, dividido en 2 partes fundamentales, la primera para el cargue de la información y la segunda para la manipulación de la información. En la primera parte encontramos los botones para cargar el archivo con el cual vamos a trabajar, el cual contiene toda la información de los magnetogramas, una vez está cargado el archivo se procede a organizar el mismo a partir de la fecha y la estación con el siguiente botón que lleva como nombre organizar archivo; todos estos con su debido label que sirve como guía e indica que los archivos cargados están bien, por ultimo encontramos el botón de procesar que internamente realizara los procesos debidos para poder mostrar los magnetogramas.
A su vez dentro del mismo aplicativo encontramos la parte de manipulación de la información que se encuentra compuesta por 8 botones, 1 panel desplegable y una barra de carga. Los primeros 3 botones permiten la visualización de los magnetogramas, ya que son los encargados de la función de adelante y atrás para ir recorriendo cada uno de los magnetogramas, y el del medio que elimina los datos que se encuentren seleccionados. En el siguiente nivel se encuentra el botón de magnetograma original, que permite volver a los datos iniciales del mismo con el objetivo de no guardar los datos previamente eliminados, el siguiente es el encargado de guardar los datos de cada magnetograma y las operaciones que se han realizado sobre el mismo y por último en este nivel se encuentra el botón de Exp Magnetogramas y CSV, el cual permite exportar el trabajo realizado en un solo pdf para tener la visualización de todos los magnetogramas generados y un archivo csv que contiene la información con la cual se produjeron los magnetogramas. Para el ultimo nivel se encuentra el panel despegable que funciona en conjunto con el botón de interpolar ya que dependiendo del nivel que en este se le indique así mismo será la interpolación y por último el botón Exp interpolación y CSV, que nos brinda en un único pdf los magnetogramas, con la interpolación que se le realizo a cada uno y un archivo CSV, que contiene los coeficientes de cada una de las interpolaciones realizadas y el grado de interpolación aplicado.

1. Abrir el menú de magnetometria.



2. Seleccionar la opción magnetogramas



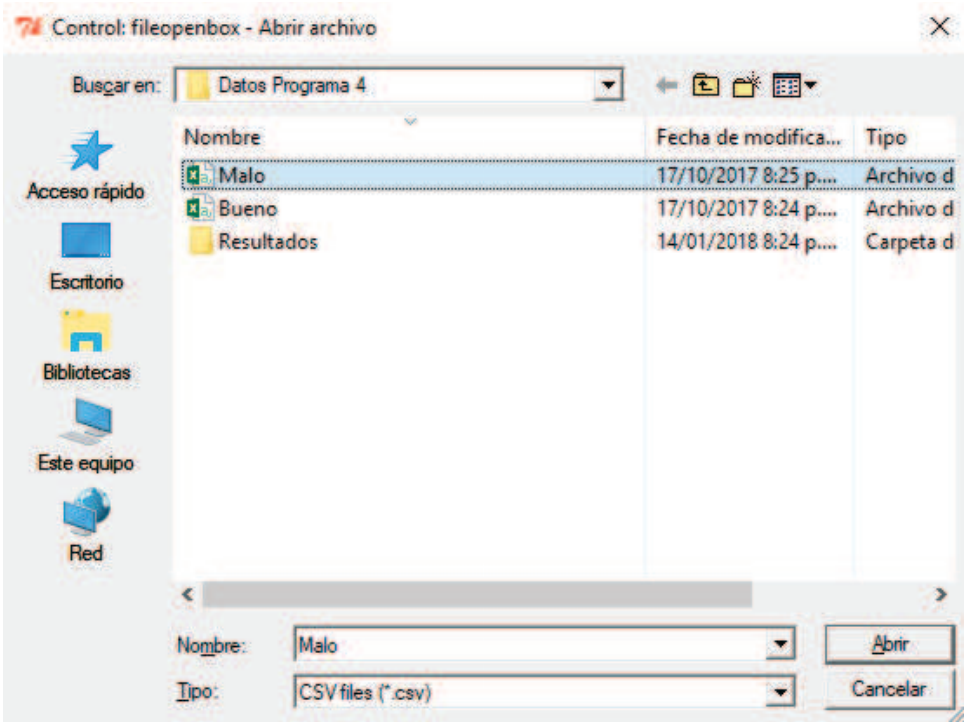
3. Se abrirá la ventana del aplicativo.



4. Seleccionar cargar archivo.



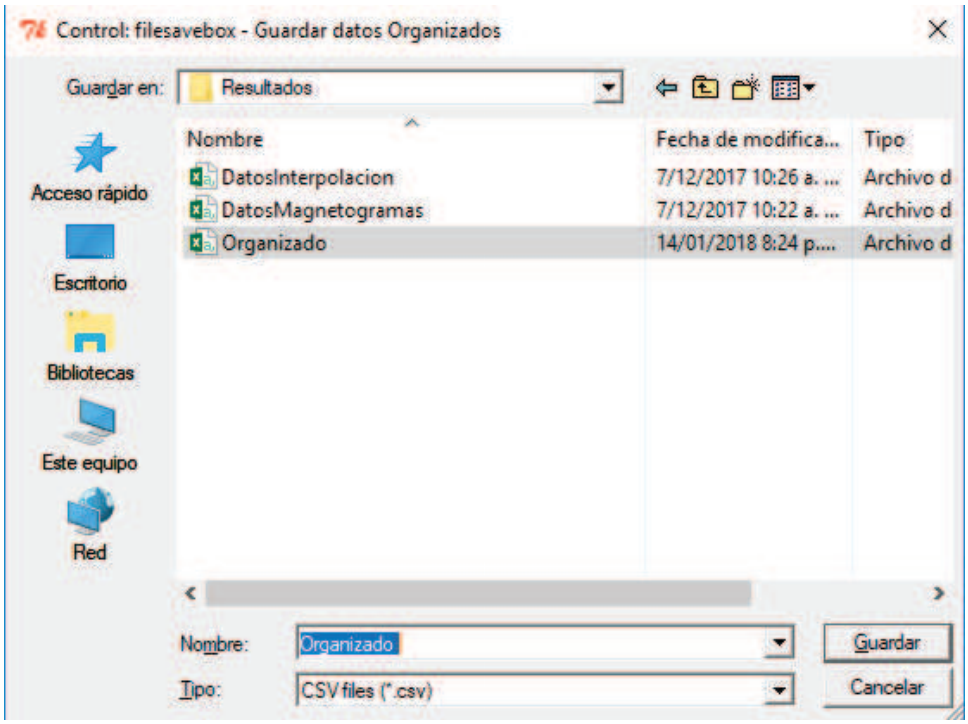
5. Seleccionar archivo para cargar.



6. Seleccionar organizar archivo.



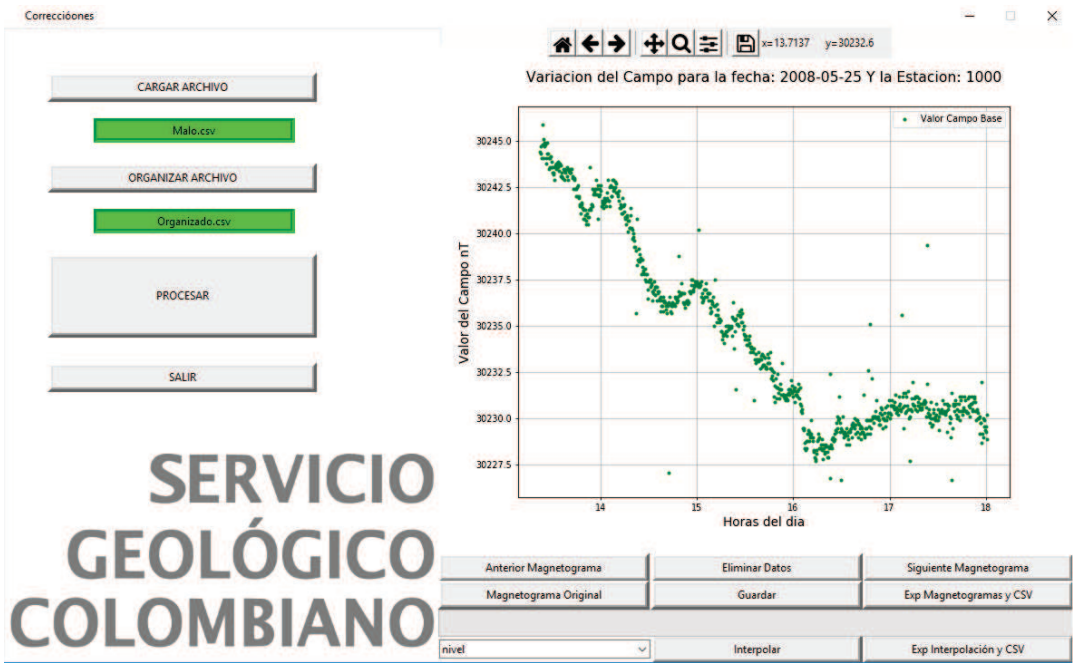
7. Seleccionar ruta para guardar archivo.



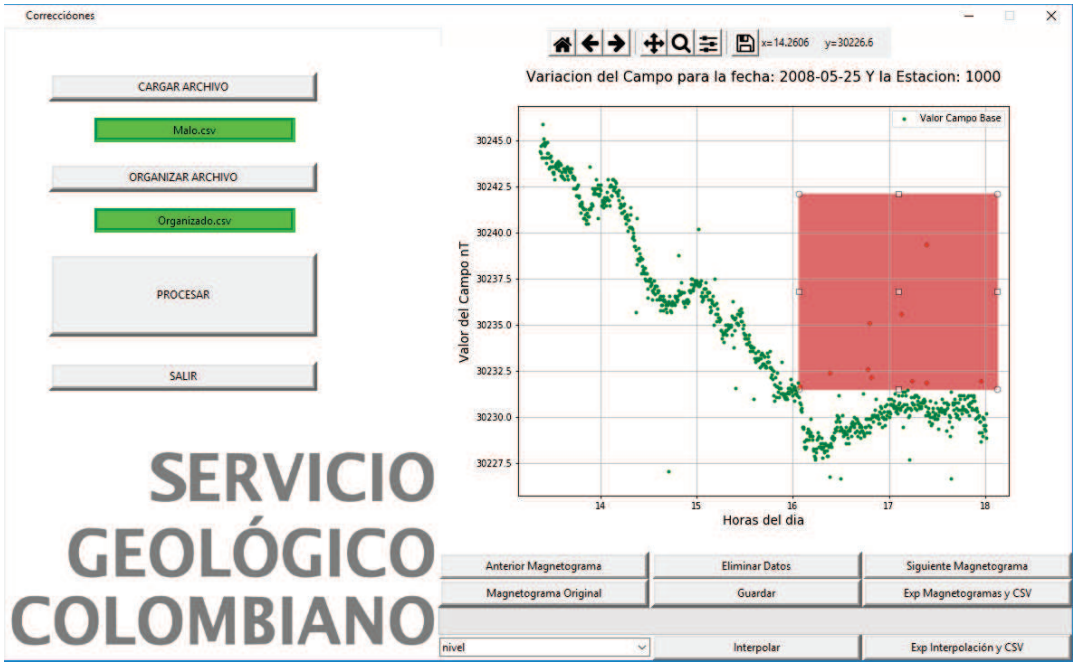
8. Seleccionar la opción procesar.



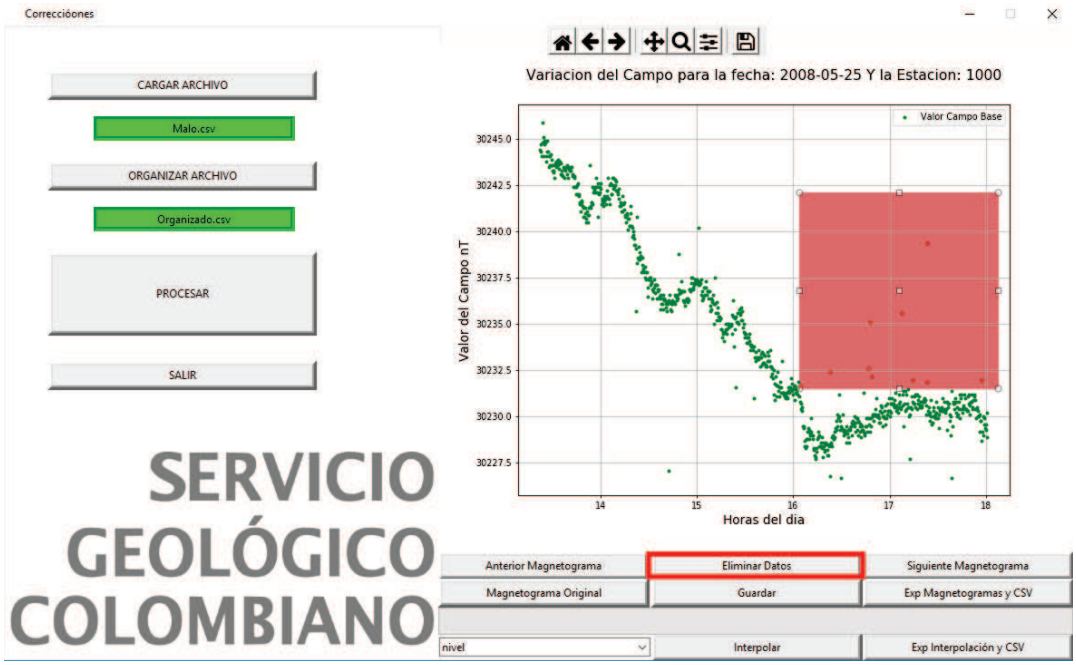
9. Verificar la obtención del magnetograma.



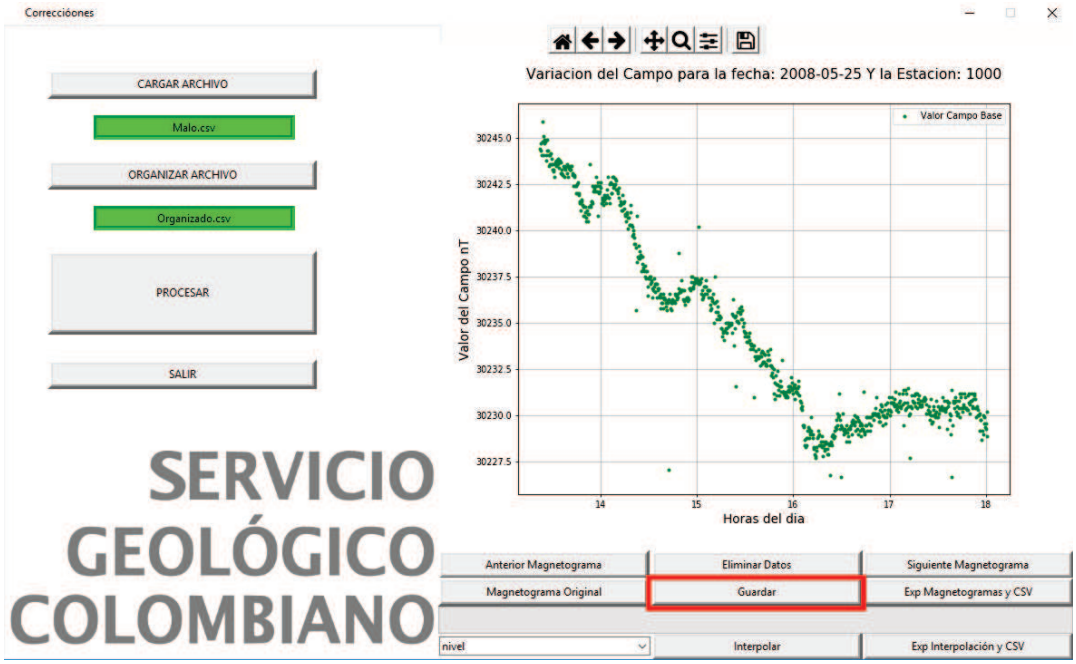
10. Seleccionar el área de datos a eliminar.



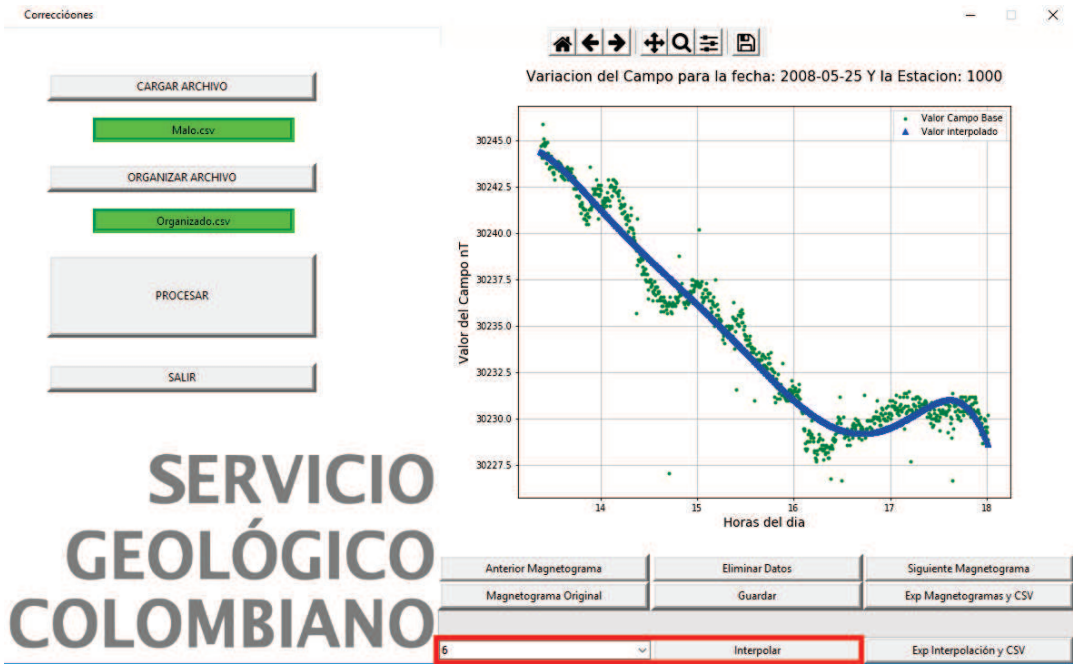
11. Seleccionar eliminar datos.



12. Seleccionar guardar.

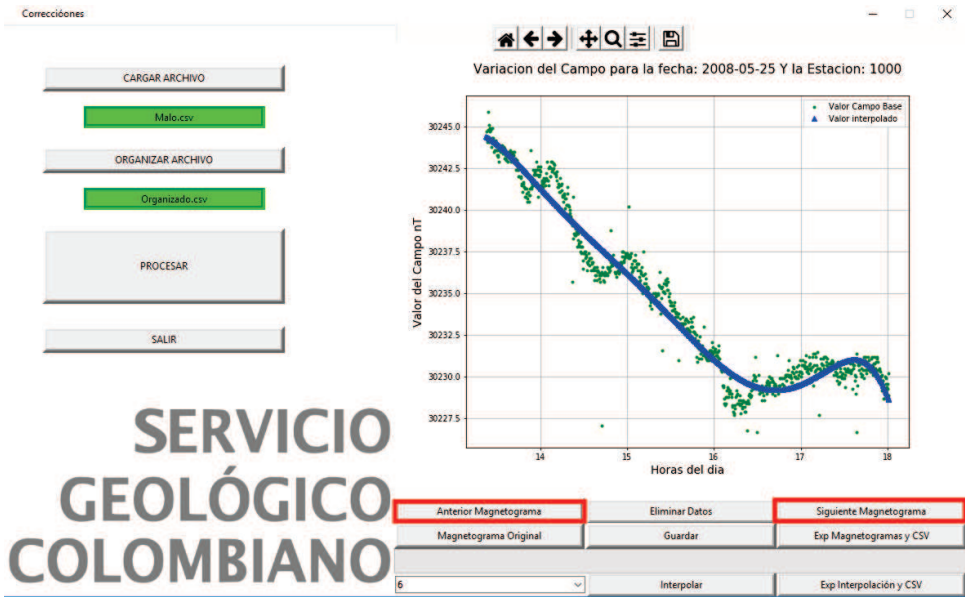


13. Seleccionar el nivel de interpolación y la opción interpolar.

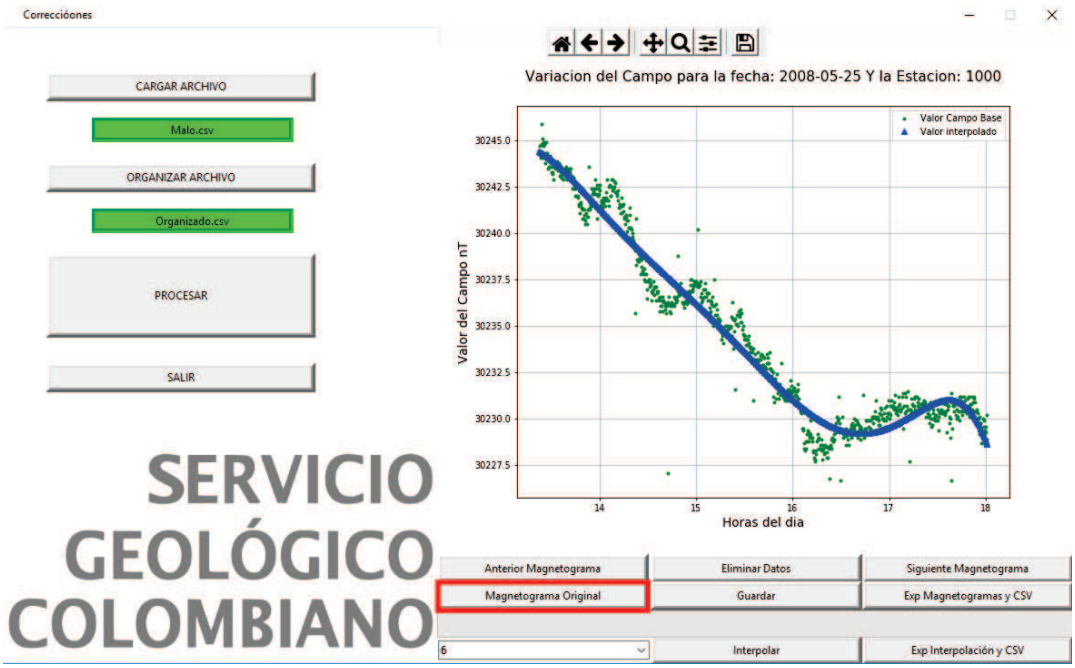


14. Verificar la interpolación y repetir el paso 13 hasta obtener el resultado esperado.

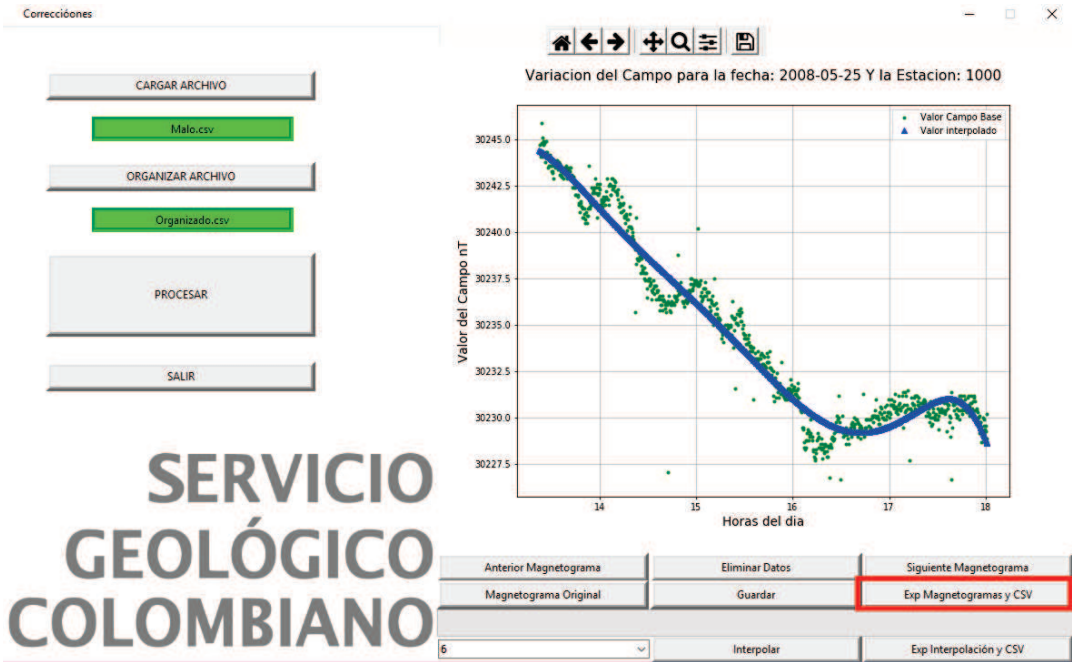
15. Repetir los pasos del 9 al 14 sobre todos los magnetogramas, usando las funciones de anterior y siguiente magnetograma



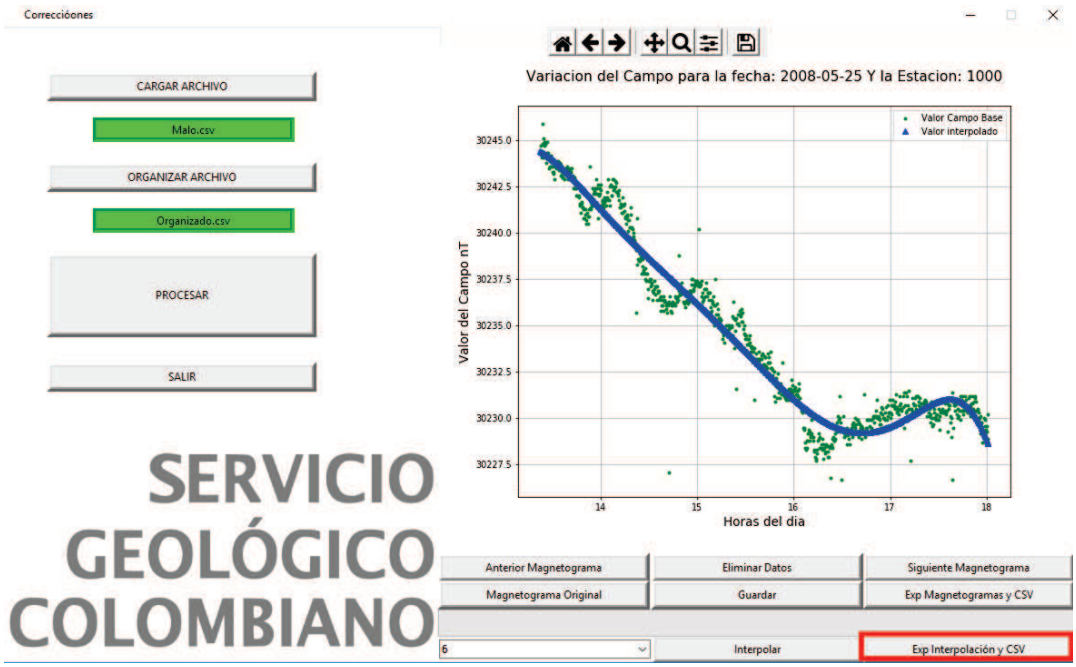
16. En caso de querer repetir la eliminación de datos, usar la función de magnetograma original para obtener el magnetograma inicial.



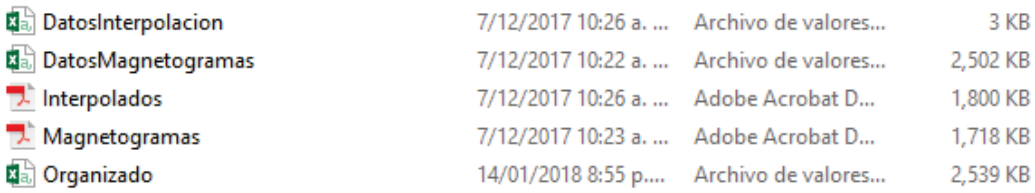
17. Exportar los magnetogramas y los datos filtrados con la opción de Exp Magnetogramas y CSV.



18. Exportar los magnetogramas interpolados y los datos de interpolación con la opción Exp Interpolación y CSV.



19. Verificar archivos obtenidos.



6. Conversión

Dentro el desarrollo de software y el manejo de archivos es necesario la implementación de extensiones que sean compatibles para la lectura de la información, PGM tiene por defecto la utilización de archivos .CSV para el manejo de la información, tanto para importarla como para exportarla. Es por lo que dentro de los sistemas operativos que usan alguna versión de Windows se implementan herramientas para pasar de .CSV a .XLS o de .XLS a .CSV, las cuales se explican a continuación.

6.1. csv2excel

Este módulo tiene por objetivo convertir los archivos .CSV que genera el programa a formato .XLSX debido a que este formato es nativo de Office Excel y permitirá visualizar el archivo generado de manera clara y fácil para el usuario que usa el programa.

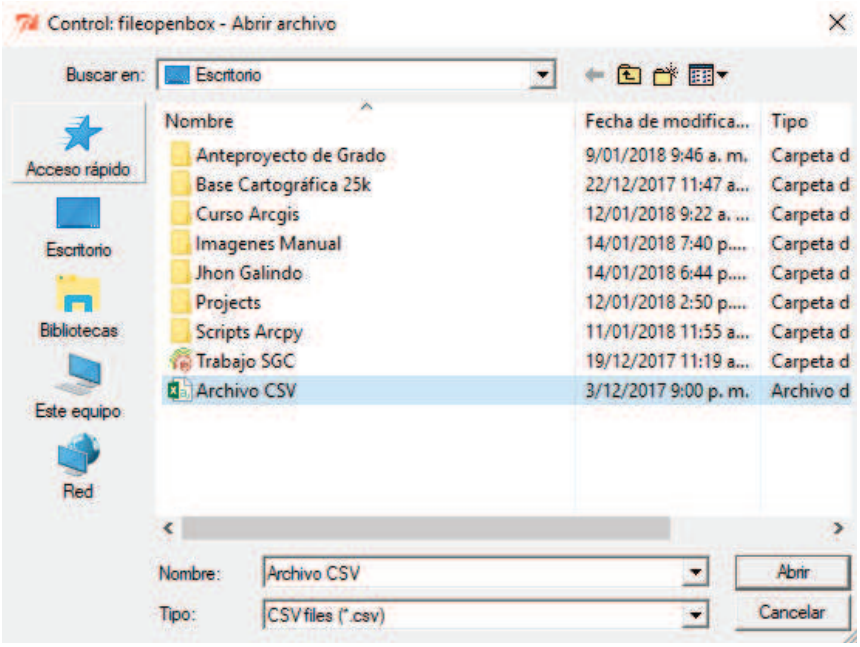
1. Abrir el menu de conversion dentro del menu general



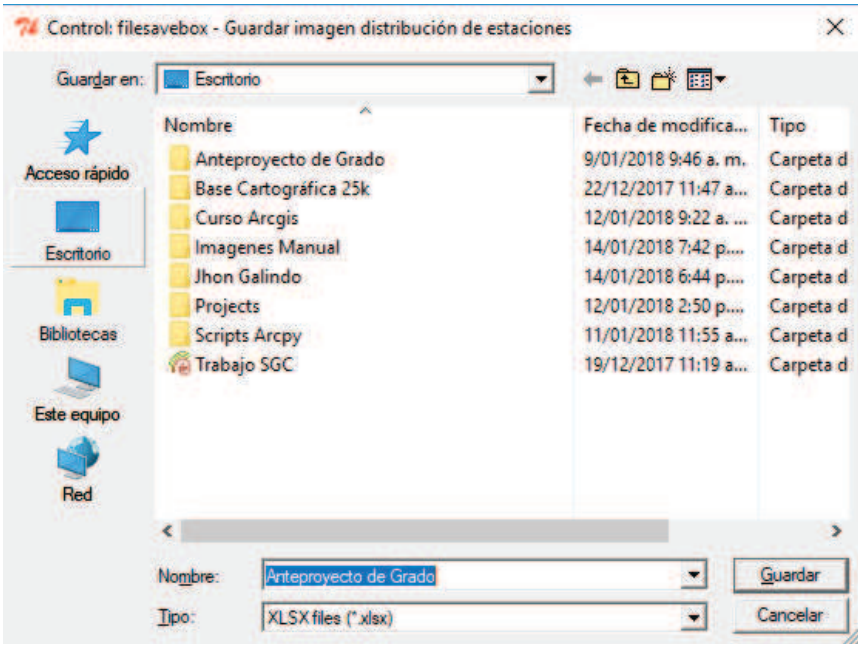
2. Seleccionar **csv2excel**



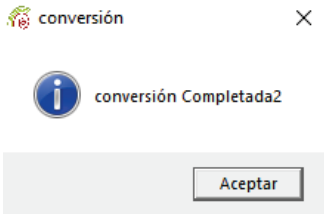
3. Dentro de la pestaña que se despliega seleccionar el archivo .CSV que se desea convertir



4. En la Siguiente pestaña que se despliega seleccionar la ruta y el nombre del archivo convertido a .XLSX



5. Verificar letrero de Conversión completada y seleccionar aceptar



6. Acceder al archivo generado en la ruta especificada.



6.2. excel2csv

Este modulo busca que los datos trabajados sobre Office Excel en formato .XLS o .XLSX se puedan trabajar dentro del software PGM y tengan una correcta lectura para así no generar errores o una mala interpretación de los datos.

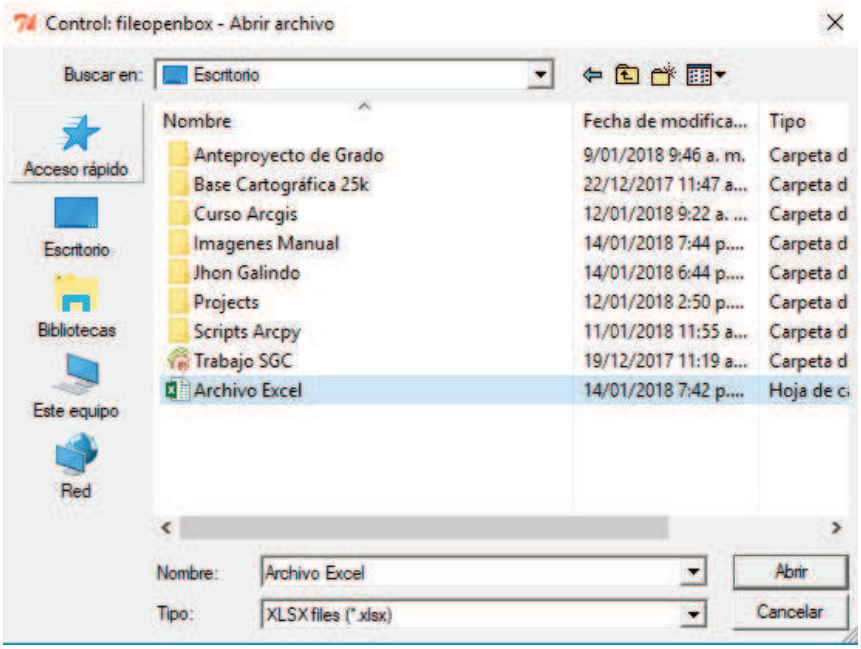
1. Abrir el menu de conversion dentro del menu general



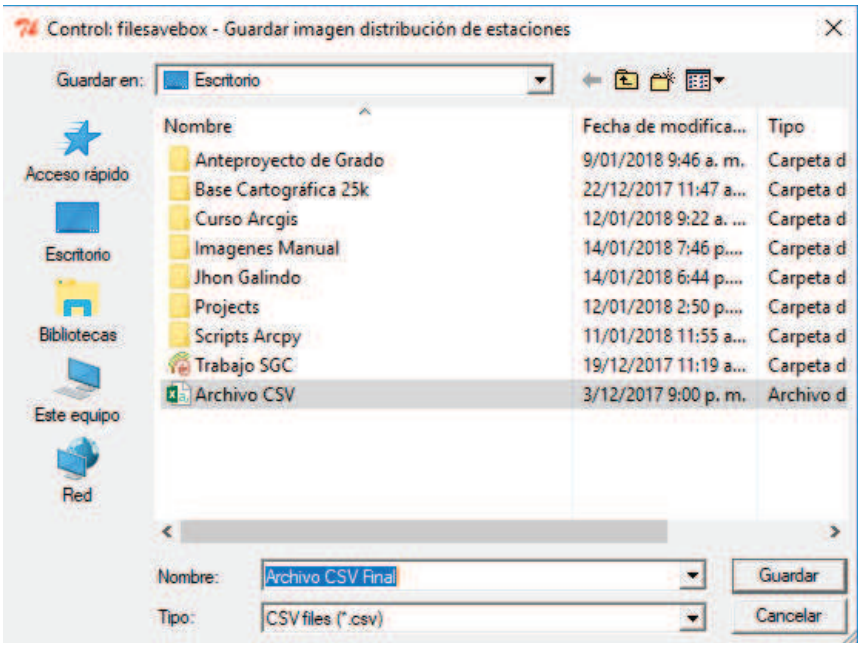
2. Seleccionar **excel2csv**



3. Dentro de la pestaña que se despliega seleccionar el archivo .XLS o .XLSX que se desea convertir.



4. En la Siguiente pestaña que se despliega seleccionar la ruta y el nombre del archivo convertido a .CSV.



5. Verificar letrero de Conversión completada y seleccionar aceptar-



6. Acceder al archivo generado en la ruta especificada.



Referencias

[Andres C, 2014] Andres C, H. F. (2014). Fundamentos teóricos y su aplicación en los métodos de potencial geomagnético y gravimétrico.

[ANH, 2010] ANH (2010). Mapa anomalías bouguer total colombia. urlhttp://www.anh.gov.co/Informacion-Geologica-y-Geofisica/Metodos-Remotos/Paginas/Anomalias-Bouguer-total.aspx.

[Beltran Luque, 2015] Beltran Luque, M. A. (2015). Interpretación de anomalías magnetométricas y gravimétricas en el área geotérmica de paipa-iza. Technical report, Servicio Geológico Colombiano.

[Beltran Luque, 2017] Beltran Luque, M. A. (2017). Codigo fuente para reducción de datos gravimétricos y magnéticos. Codigo fuente en lenguaje Octave/Matlab, comunicaciones personales.

[Cormen et al., 2001] Cormen, T. H., Leiserson, C. E., Rivest, R. L., and Stein, C. (2001). Introduction to algorithms second edition.

[Enríquez et al., 1991] Enríquez, J. C., Enríquez, J. C., and Fucugauchi, J. U. (1991). Variación secular reciente y cartas de los elementos del campo geomagnético en mexico. *Geofisica internacional*, 30(2):107–116.

[Foundation, 2017] Foundation, P. S. (2017). Introducción. urlhttp://sindominio.net/ash.

[Jacoby and Smilde, 2009] Jacoby, W. and Smilde, P. L. (2009). *Gravity interpretation: fundamentals and application of gravity inversion and geological interpretation*. Springer Science & Business Media.

[Li and Götze, 2001] Li, X. and Götze, H.-J. (2001). Ellipsoid, geoid, gravity, geodesy, and geophysics. *Geophysics*, 66(6):1660–1668.

[Lowrie, 2007] Lowrie, W. (2007). *Fundamentals of geophysics*. Cambridge university press.

[Moritz, 1980] Moritz, H. (1980). Geodetic reference system 1980. *Bulletin géodésique*, 54(3):395–405.

[Nettleton, 1939] Nettleton, L. (1939). Determination of density for reduction of gravimeter observations. *Geophysics*, 4(3):176–183.

[NOAA, 2015] NOAA (2015). Mapa intensidad del campo geomagnético total. urlhttps://www.ngdc.noaa.gov/IAGA/vmod/igrf.html.

[SGC, 2017a] SGC (2017a). Marco estratégico del servicio geológico colombiano. urlhttp://www2.sgc.gov.co/Nosotros/Marco-Estrategico.aspx.

[SGC, 2017b] SGC (2017b). Organigrama del servicio geológico colombiano. urlhttp://www2.sgc.gov.co/Nosotros/Estructura/Organigrama.aspx.

[Telford et al., 1990] Telford, W. M., Telford, W., Geldart, L., and Sheriff, R. E. (1990). *Applied geophysics*, volume 1. Cambridge university press.