

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

**ESTUDIO AEROMAGNÉTICO  
DEL ESCUDO DE GUAYANA EN LA ZONA EL MANTECO,  
NORTE DEL ESTADO BOLÍVAR**

Trabajo Especial de Grado  
Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela para  
optar al título de Ingeniero Geofísico  
Por la Br. Adrián Bianchi Natalia

Caracas, Julio de 2004

## **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

### **ESTUDIO AEROMAGNÉTICO DEL ESCUDO DE GUAYANA EN LA ZONA EL MANTECO, NORTE DEL ESTADO BOLÍVAR**

**Tutor académico :** Inírida Rodríguez  
**Co- Tutor académico:** Sebastián Grande  
**Tutor industrial :** Octimio Gutiérrez

Trabajo Especial de Grado  
Presentado ante la Ilustre  
Universidad Central de Venezuela para  
optar al título de Ingeniero Geofísico  
Por la Br. Adrián Bianchi Natalia

Caracas, Julio de 2004

**Caracas, Julio 2004.**

Los abajo firmantes, miembros del jurado designado por el consejo de la Escuela de Geología, Minas y Geofísica para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por la bachiller Natalia Adrián Bianchi, titulado:

**ESTUDIO AEROMAGNÉTICO  
DEL ESCUDO DE GUAYANA EN LA ZONA EL MANTECO, NORTE DEL  
ESTADO BOLÍVAR**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente el título de Ingeniero Geofísico, sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran **APROBADO**.

---

Profesor Rafael Falcon

Jurado

---

Profesor Romer Wilchert

Jurado

---

Profesora Inírida Rodríguez

Tutor Académico

## **DEDICATORIA**

**A MI MAMÁ, Y  
MIS HERMANOS**

## AGRADECIMIENTOS

A la Escuela de Geología, Minas y Geofísica, de la Universidad Central de Venezuela, por permitirme realizar este Trabajo Especial de Grado para cumplir los requisitos exigidos, y de esta forma optar al título de Ingeniero Geofísico.

Un afectuoso y especial agradecimiento a mi tutora académica Prof. Inírida Rodríguez por su valiosa asesoría y paciencia con todo y cada uno de sus tesista.

Al Instituto Nacional de Geología y Minería (INGEOMIN), por darme la oportunidad de desarrollar mi Trabajo Especial de Grado, igualmente a mi tutor industrial Ing. Octimio Gutiérrez y la asesoría de MOU por aporta la información necesaria para llevar a cabo este trabajo.

Mi reconocimiento y afecto por los valiosos aportes en este estudio al Prof. Sebastián Grande.

Un especial e inmenso reconocimiento a cada uno de mis compañeros (MAXLYN, ENGELBERTH, RAFAEL, LIZ, EL NEGRITO, LEO Y NANVIR) y no compañeros de tesis ( PEPI, BULI, LAURA, MARIANELA Y LOS QUE SE ME OLVIDAN)... Gracias..

A mi mamá y mis hermanos por todo su apoyo... mil gracias no bastan...

A la Sra. Josefina, el Sr. Dávila y Marvic para que vean que no los olvidos

Y por último pero no menos importante MI NOVIO... gracias por esta aquí...

Y otra mil personas más.... Gracias

**Adrian B. Natalia**

**ESTUDIO AEROMAGNÉTICO  
DEL ESCUDO DE GUAYANA EN LA ZONA EL MANTECO ,  
NORTE DEL ESTADO BOLÍVAR**

**Tutor Académico: Prof. Inirida Rodríguez. Co – Tutor Académico: Sebastián Grande. Tutor Industrial: Ing. Octimio Gutiérrez. Tesis. Ciudad, U.C.V. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Geología, Minas y Geofísica (Ingeniero Geofísico) Año 2004, 130 Pág.**

**Palabras Claves:** Análisis Espectral, Geoestadística, Perfiles Magnéticos, Modelado

**Resumen.** El estudio que se presenta en este Trabajo Especial de Grado está orientado hacia la interpretación de datos aeromagnéticos realizados en la región del Escudo de Guayana, este estudio específico comprende la zona de El Manteco entre las longitudes  $62^{\circ} 45' W - 63^{\circ} 15' W$  y latitudes:  $7^{\circ} 15' N - 7^{\circ} 30' N$ , y cubre un área de  $4620.375 \text{ Km}^2$ .

El objetivo principal es determinar las zonas potencialmente mineralizadas por medio de modelos bidimensionales, que fueron realizados con el apoyo de información magnética, gravimétrica, sísmica y geológica de la zona. Este modelo se realizó con base en la geología y las anomalías de intensidad magnética de la zona, que representan los posibles yacimientos minerales.

Se puede deducir por medio de la interpretación bidimensional de este estudio que todos los depósitos de hierro comercialmente desarrollados están asociados con magnetita y que su valor aumenta con la profundidad. Las principales formaciones ferríferas se encuentran ubicadas al norte del Escudo de Guayana específicamente en la Provincia de Imataca, de igual forma hacia el cinturón de rocas verdes se puede encontrar pequeñas mineralizaciones.

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
RESUMEN	v
ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
1. CAPÍTULO I	
1.1. Introducción	1
1.2. Objetivos	2
1.2.1. Objetivos Generales	2
1.2.2. Objetivos Específicos	2
1.3. Localización del Área de Estudio	3
1.4. Trabajos Previos	4
1.4.1. Estudios Geológicos	4
1.4.2. Estudios Magnéticos y Aeromagnético	5
1.4.3. Estudios Gravimétricos	6
1.4.4. Estudios Sísmicos	7
1.4.5. Otros Estudios.	10
1.5. Método de Trabajo	12
1.5.1. Diagrama del método de trabajo	13
2. CAPITULO II MARCO GEOLÓGICO	
2.1. Geología Regional.	14
2.1.1. Provincia Geológica de Imataca	15
2.1.2. Provincia Geológica de Pastora	17
2.1.3. Provincia Geológica de Cuchivero	21
2.2. Geología Local	25
2.3. Geología Estructural de la Zona de Estudio	32
2.4. Evolución Tectónica	37

2.5. Reconocimiento Geológico de la Zona	42
2.6. Descripción de las Unidades que Afloran en la Sub – Región	51
3. CAPÍTULO III. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE MÉTODO MAGNÉTICO	
3.1. Elementos del Campo Magnético	58
3.2. Campo Magnético Terrestre	59
3.3. Materiales Magnéticos	60
3.4. Susceptibilidad Magnética de las Rocas	61
3.5. Variaciones Temporales del Campo Magnético Terrestre	62
3.6. Aeromagnetometría	64
3.7. Realización e Interpretación de Mapas Magnéticos	67
4. CAPITULO IV. ANÁLISIS ESTADÍSTICO, GEOESTADÍSTICO Y ESPECTRAL DE LOS DATOS	
4.1. Fuente de los Datos	69
4.2. Digitalización de los Datos Aeromagnéticos	70
4.3. Validación Estadística de los Datos.	70
4.3.1. Método de Selección de los Datos	71
4.3.2. Análisis Descriptivo	71
4.3.3. Datos de Intensidad Magnética Total	71
4.3.4. Datos Gravimétricos	80
4.4. Análisis Geoestadístico	82
4.5. Análisis Espectral y Reducción al Polo de los Datos de Intensidad Magnética Total	87
5. CAPÍTULO V DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	
5.1. Mapas de Intensidad Magnética Total	88
5.2. Separación Regional - Residual del Mapa de Intensidad Magnética Total	92
5.2.1. Mapa de Intensidad Magnética Regional	92
5.2.2. Mapa de Intensidad Magnética Residual	94
5.3. Reducción al Polo	96
5.4. Mapa de Anomalías de Bouguer	98



5.5. Interpretación y Modelado Bidimensional	101
5.5.1. Construcción de los Perfiles	101
5.5.2. Análisis Espectral de los Perfiles	102
5.5.3. Restricciones para el Modelado Magnético	105
5.5.4. Modelado de Perfiles	105
5.5.5. Análisis de los Modelos	107
CONCLUSIONES	113
BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS CITADAS	116
APÉNDICES A	122
APÉNDICES B	124
APÉNDICES C	128
APÉNDICES D	131

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.	Pág.
1.1 Ubicación relativa del área de estudio	3
1.2 Mapa Geológico Tomado Wynn et al. (1993).	5
1.3 Distribución esquemática de los mapas aeromagnéticos <i>Hunting Survey Geology and Geophysics l.t.d</i> (1959,1961)	6
1.4 Mapa de ubicación de los perfiles de adquisición sísmica de Chalbaud (2001)	7
1.5 Modelo geológico E-W correspondiente a los perfiles 100 y 300 (Chalbaud, 2001)	8
1.6 Modelo geológico N-S correspondiente a los perfiles 500, 700 y 200 (Chalbaud, 2001)	9
1.7 Evaluación de las reservas geológicas de la mina de San Isidro. Tomado de León (2003)	10
1.8 Metodología de trabajo	13
2.1 Provincia Geológica del Escudo de Guayana. Nombres según Menéndez (1968) y Mendoza (1977)	14
2.2 Mapa esquemático del Complejo Supamo al oeste del Río Caroní en la región de los Indios- El Pilar, Represa de Guri. Tomado de Dougan (1972)	16
2.3 Provincia Pastora. Tomado de Menéndez (1972)	17
2.4 Mapa de afloramiento del Complejo Supamo, Grupo Carichapo y Formación Yuruari en la parte Oriental del Estado Bolívar. Simplificado de Mapa Geológico a escala 1:500.000, M.E.M.	19
2.5 Mapa de Afloramiento de la Formación Caicara, al oeste del Río Cuchivero, Estado Bolívar, Simplificado del Mapa Geológico de a escala 1:500.000 M.E.M	22
2.6 Mapa Geológico tomado del Ministerio de Minas e Hidrocarburos 1976	25
2.7 Columna Estratigráfica de la zona de El Manteco. Tomado de Espejo (1972)	26

2.8 Mapa Fisiográfico (Tomado de Rocas Industriales de Venezuela , Capítulo 4, en página web, 2004)	32
2.9 Corte esquemático del área El Manteco – Guri. Tomado de Espejo (1974 )	33
2.10 Relación entre el Complejo Supamo, los Granitos Jóvenes y la Secuencia Volcánico Sedimentaria en la región El Manteco – Guri. Tomado de Espejo (1974)	34
2.11 Mapa de recorrido con base al Mapa Geológico tomado del Ministerio de Minas e Hidrocarburos 1976	42
3.1 Campo Magnético de La Tierra.	57
3.2 Descomposición vectorial del Campo Geomagnético en el sistema de Referencia Geográfico.	58
4.1 La Distribución de frecuencia de Intensidad Magnética Total del Área de Estudio	74
4.2 Diagrama de caja	77
4.3 Gráfico Q – Q normal de Intensidad Magnética Total	78
4.4 Gráfico Q – Q normal sin tendencia de IMT	79
4.5 Distribución de frecuencia de anomalía de Bouguer en la zona de El Manteco	80
4.6 Curva de ajuste de los variogramas Teórico de Intensidad Magnética.	83
4.7 Roseta de distribución espacial de IMT	84
4.8 Análisis espectral de los datos de Intensidad Magnética.	86
5.1 Mapa de Intensidad Magnética Total con criterio geoestadístico	89
5.2 Mapa de Intensidad Magnética Total con contactos Geológico superpuestos	90
5.4 Grafico de bondad de ajuste	92
5.4 Mapa de anomalía regional de IMT de grado 2	93
5.5 Mapa de anomalía residual de IMT de grado 2	95
5.6 Mapa de reducción al polo	97
5.7 Mapa de anomalía de Bouger con apoyo en el Mapa Geológico	99
5.8 Mapa 3D de Anomalía de Bouger	100

5.9 Mapa de Intensidad Magnética y la Ubicación de los Perfiles	101
5.10 Análisis Espectral de Intensidad Magnética Total del Perfil N-S	102
5.11 Análisis Espectral de Intensidad Magnética Total del Perfil N64W	103
5.12 Análisis Espectral de Intensidad Magnética Total del Perfil E – W	104
5.13 Modelo de Intensidad Magnética Total y Anomalía Gravimétrica del Perfil N-S	108
5.14 Modelo de Intensidad Magnética Total y Anomalía Gravimétrica del Perfil N64W	109
5.15 Modelo de Intensidad Magnética Total y Anomalía Gravimétrica del Perfil E-W extendido	111
5.16 Modelo de Intensidad Magnética Total y Anomalía Gravimétrica del Perfil E-W	112

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°	Pág.
3.1. Susceptibilidades de algunas Rocas y Minerales (Dobrin, 1988)	59
4.1 Procesamiento estadístico de los casos de IMT	72
4.2 Valores Estadísticos de la Intensidad Magnética Total	72
4.3 Valores Estadísticos Descriptivos de Intensidad Magnética Total	73
4.4 Valores de Percentiles para la Intensidad Magnética Total	75
4.5 Valores Extremos	75
4.6 Estimadores M para la Población Total de los Datos de Intensidad Magnética Total	76
4.7 Pruebas de Normalidad	76
4.8 Valores de Tendencia Central de Anomalía de Bouguer (miligal).	80
5.1 Descripción de las Unidades del Modelos Magnéticos	105
b-1 Valores promedios de susceptibilidad magnética de las muestras adquiridas durante el reconocimiento geológico de la zona.	121 126
c-1 Valores Promedios de Densidad de las Muestras Tomadas en Campo	126

# CAPÍTULO I

## 1.1 INTRODUCCIÓN

Desde la antigüedad el hombre siempre se ha interesado por comprender todos los fenómenos que ocurren en la Tierra, surgiendo de esta manera muchas ciencias que se han dedicado a su estudio, entre ellas está la Geofísica que se dedica a comprender los fenómenos naturales y no naturales de la Tierra, mediante métodos e instrumentos que miden las ondas sísmicas, el magnetismo terrestre y la fuerza de gravedad.

Desde su inicio la Geofísica ha alcanzado grandes éxitos en la búsqueda de yacimientos efectuando algunos descubrimientos espectaculares de depósitos de minerales. No obstante, los métodos geofísicos de prospección petrolífera y minera no siempre son capaces de encontrar directamente los depósitos, por lo que su éxito depende de localizar estructuras geológicas favorables para ubicar yacimientos de gran valor económico. Es por eso que la presencia en el país de los escudos precámbricos y las extensas cuencas sedimentarias, producto de los macro-eventos que caracterizan nuestra historia geológica, ha permitido la abundancia de depósitos minerales de variada naturaleza.

En Venezuela existen datos aeromagnéticos en un gran número de zonas con alto interés exploratorio. Estos datos fueron adquiridos en campañas exploratorias durante los años 1959 y 1961 por la empresa *Hunting Survey Geology and Geophysics l.t.d.* para la búsqueda de nuevos yacimientos minerales.

Los datos fueron procesados e interpretados con algoritmos de interpolación poco desarrollados para la fecha; con esta técnica se filtraron datos y se enmascaró información de interés para la zona, afectando la etapa de interpretación de los mapas. Todas las técnicas de interpolación aplicadas dificultaron al análisis al no adecuarse a la geología de la zona y llevaron a la interpretación de estructuras ficticias.

Es por esta razón que se plantea la digitalización e interpretación de los datos obtenidos en las campañas exploratoria; realizadas en la región del Escudo de Guayana, como parte de un proyecto de el Trabajo Especial de Grado del Departamento de Geofísica en conjunto con miembros de INGEOMIN. Este estudio específico comprende la zona El Manteco entre las longitudes  $62^{\circ} 45' W$ –  $63^{\circ} 15' W$  y latitudes  $7^{\circ} 15' N$  –  $7^{\circ} 30' N$ , y se pretende a través de técnicas geoestadísticas mejorar la representación de los datos, de forma tal que se obtengan mapas acordes con la realidad geológica, para la expansión de nuevas zonas exploratorias de mayor interés económico. Así mismo se plantea la construcción de perfiles magnéticos para modelar la geometría de los cuerpos que se encuentran en el subsuelo apoyados con información geológica, gravimétrica y sísmica adquirida en la zona de interés

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivos Generales**

- Elaborar mapas de intensidad magnética total en la región del Escudo de Guayana en la zona El Manteco, con la aplicación de técnicas geoestadísticas.
- Proponer un modelo geológico con apoyo de información magnética, gravimétrica, sísmica y geológica de superficie.

### **1.2.2 Objetivos Específicos**

- Diseñar una base de datos aeromagnéticos del área de estudio en formato digital.
- Realizar análisis estadístico, geoestadístico y espectral de los datos.
- Construir perfiles de datos aeromagnéticos en el mapa de Intensidad Magnética Total generado.
- Realizar el análisis espectral de los perfiles seleccionados.
- Identificar nuevas zonas prospectivas de posible interés económico.

### 1.3 LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La región estudiada se encuentra ubicada en la zona de El Manteco, Estado Bolívar, región del Escudo de Guayana, entre las coordenadas de longitud  $62^{\circ} 45' W - 63^{\circ} 15' W$  y latitud:  $7^{\circ} 15' N - 7^{\circ} 30' N$ .

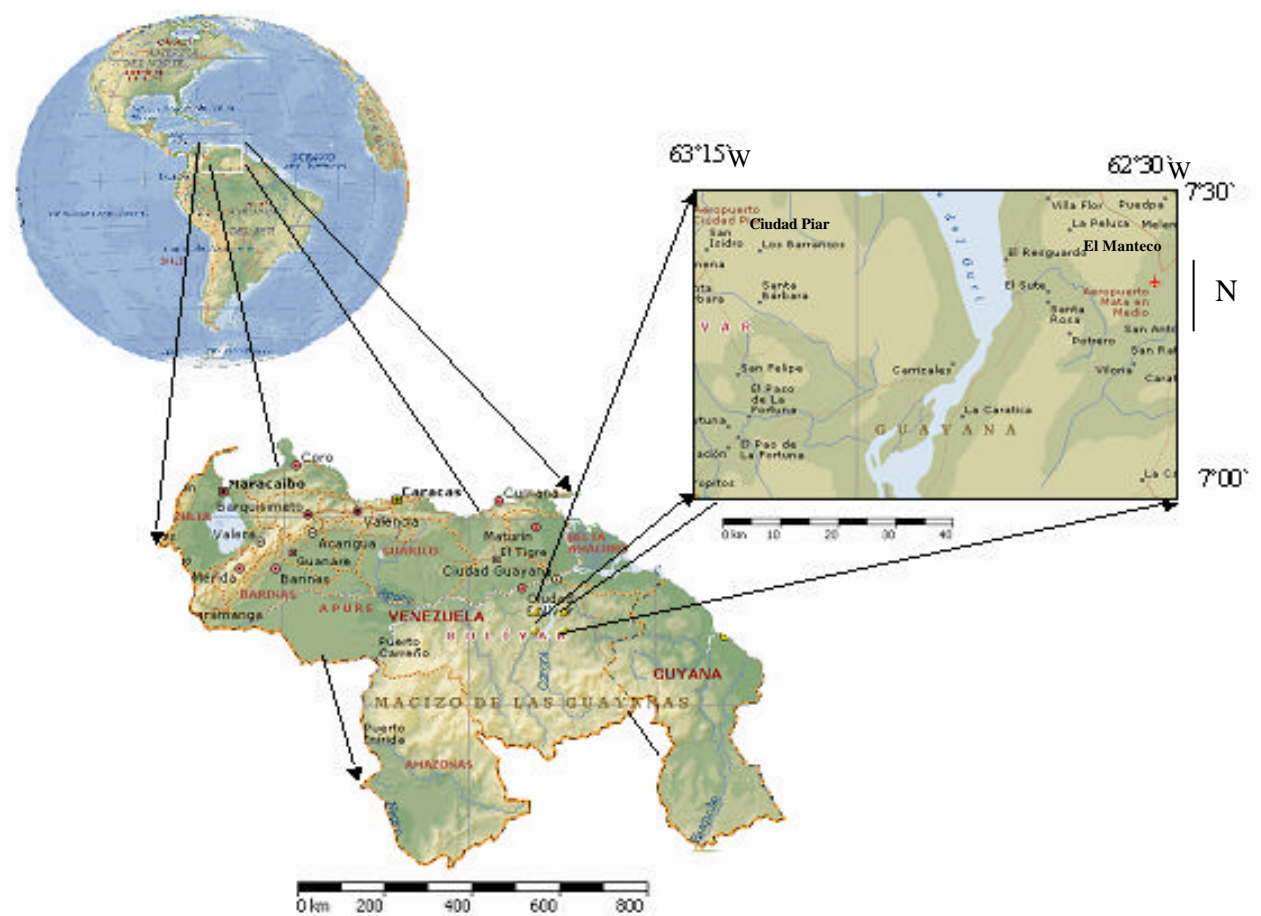


Fig. N°1.1 Ubicación relativa del área de estudio



## **1.4 TRABAJOS PREVIOS**

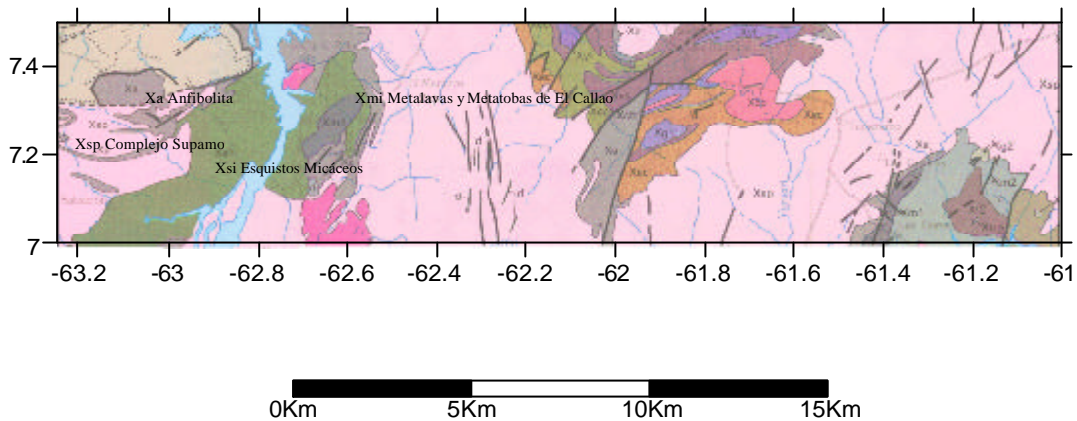
### **1.4.1 Estudios Geológicos**

Las investigaciones en la zona de estudio son muy extensas, debido a que abarca grandes yacimientos minerales como el que se encuentra en Ciudad Piar y aún más en la zona El Manteco - Guri. SHORT y STEENKEN (1962) realizaron un reconocimiento geológico en parte del Escudo de Guayana. RATMIROFF (1965) estudió la zona de Upata, para luego ser complementado por ESPEJO (1972) que estudió la zona de El Manteco – Guri.

En cuanto a estudios regionales semi-detallados, se incluyen los del área Upata – El Manteco realizado por SHORT y STEENKEN (op.cit.), KALLIOSKOSKI (1965) agrupó las metavolcánicas básicas y metasedimentarias dentro de la Asociación Pastora-Carichapo y describió las rocas graníticas y gneises asociados. McCANDLESS (1966) distribuyó las rocas expuestas en la parte norte del Escudo de Guayana en cuatro grandes unidades. Llamó Complejo de Gneis de Carichapo al conjunto de rocas graníticas y gneises de la región de estudio y dividió la secuencia volcánica-sedimentaria en la Anfibolita de Carichapo, Rocas Foliadas de Piedpa y Grupo Pastora, sin diferenciar esta última en la región El Manteco – Guri. Diversos autores: KOROL (1965), RATMIROFF (op.cit), DOUGAN (1966), MENÉNDEZ (1968) MARTÍN BELLIZIA (1969) han realizado estudios geológicos en zonas vecinas.

WYNN et al. (1993) realizaron un estudio en el que plantean en primer lugar un mapa geológico-estructural del Escudo de Guayana, Estado Bolívar. En este trabajo también se logra evaluar y reconocer un inventario mineral de las zonas o provincias geológicas que plantean, entre las cuales encontramos: Imataca, Pastora-Supamo, Rocas Volcánicas y Sedimentos Transicionales Suprayacentes, Granitos de Post-

Supamo y Grupo Roraima. Se aplican métodos potenciales como apoyo del reconocimiento de la geología pero en donde no plantean conclusiones significativas.



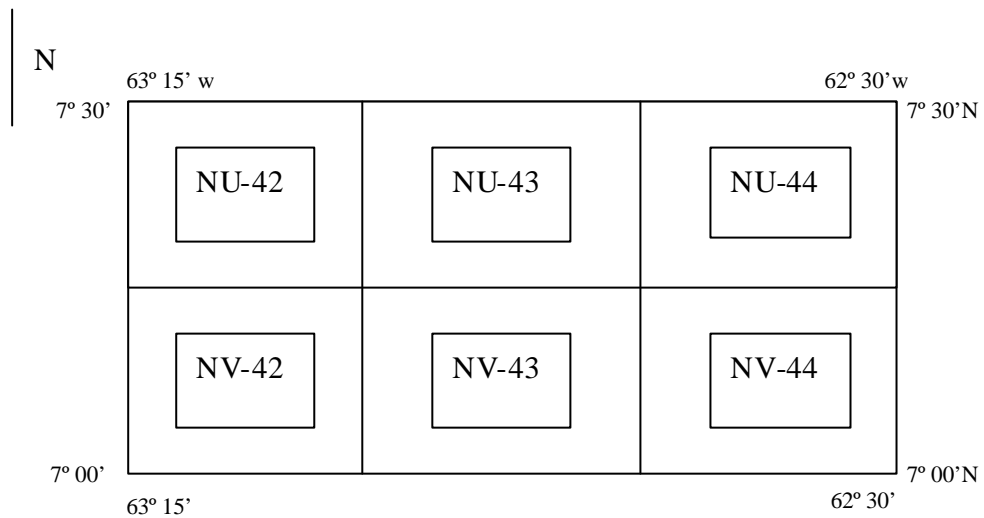
**Fig. N°1.2 Mapa geológico tomado Wynn et al (1993).**

#### **1.4.2 Estudios Magnéticos y Aeromagnéticos**

En 1950 se realizó un levantamiento magnetométrico aéreo, el cual fue realizado por la empresa Internacional Aero Service Corporation de Filadelfia, para el Ministerio de Fomento de Venezuela. El objeto de este levantamiento fue determinar la geología general y estructural, y las concentraciones de mineral de hierro en el Complejo Precámbrico al Sur del río Orinoco, en el Estado Bolívar. Este estudio del control magnetométrico aéreo y su interpretación mostró la presencia de numerosas zonas de enriquecimiento en las formaciones ferríferas y sus diferentes miembros. De este reconocimiento se concluye que todos los yacimientos comerciales de hierro están relacionados con magnetita, anticipándose que el contenido de magnetita aumenta con la profundidad. Se establecieron altos valores de susceptibilidad magnética, probablemente causados por el magnetismo residual de la magnetita.

En cuanto al levantamiento de los mapas aeromagnéticos se trabajó con la compañía *Hunting Survey Geology and Geophysics l.t.d.* y Aero Service Corporation de

Venezuela C.A. en vuelos realizados en 1959 y 1961. Estos datos fueron adquiridos a una altura de 152 metros a nivel de tierra y se encuentran en una escala de 1:50.000, con contornos de 20 gammas, separación entre las líneas de vuelo es de 500 metros todo esto sobre un área de 4620.375 Km<sup>2</sup>. Estos mapas fueron identificados de la siguiente forma:



**Fig. N°1.3 Distribución esquemática de los mapas aeromagnéticos de la *Hunting Survey* *Geology and Geophysics L.t.d* (1959,1961)**

### 1.4.3 Estudios Gravimétricos

En los datos gravimétricos se usó la base de datos de la Red Gravimétrica Nacional, proporcionada por el Departamento de Geofísica de la Universidad Central de Venezuela. A los datos gravimétricos sólo se les aplicó el análisis estadístico como control de calidad para obtener el mapa de anomalía de Bouguer a través de la técnica Kriging

#### 1.4.4 Estudios Sísmicos

Este estudio realizado por Chalbaud (2001) se basa en mediciones sísmicas de refracción con el fin de determinar las estructuras corticales y su espesor en el Estado Bolívar. En los trabajos de campo se obtuvieron 7 líneas sísmicas como se muestra en la Fig. N° 1.4, de hasta 250 km. de longitud, utilizando como fuente de energía las voladuras del Cuadrilátero de San Isidro (Cerro Bolívar) en Ciudad Piar.

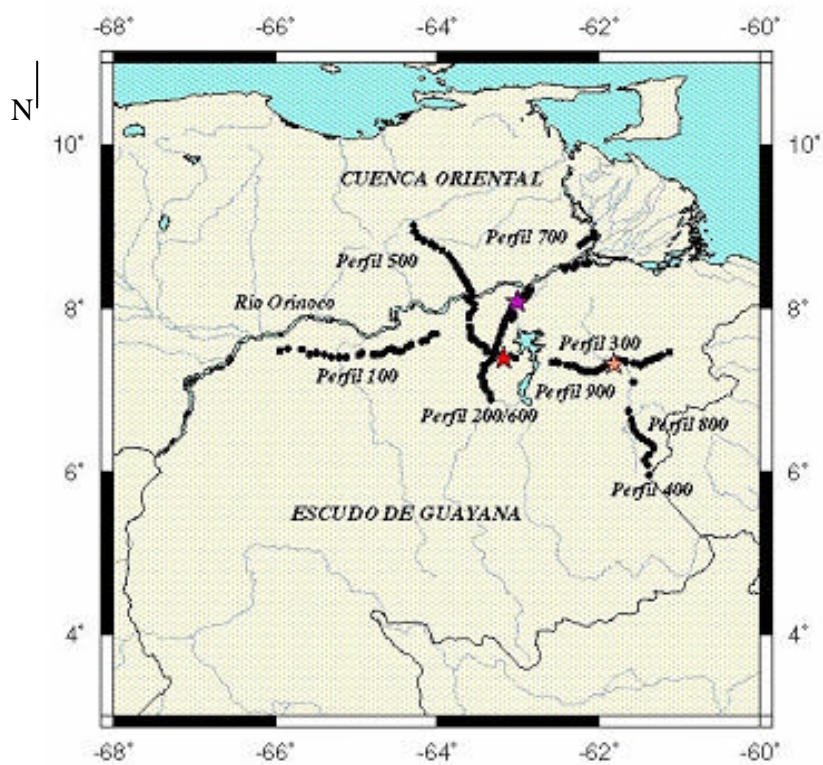
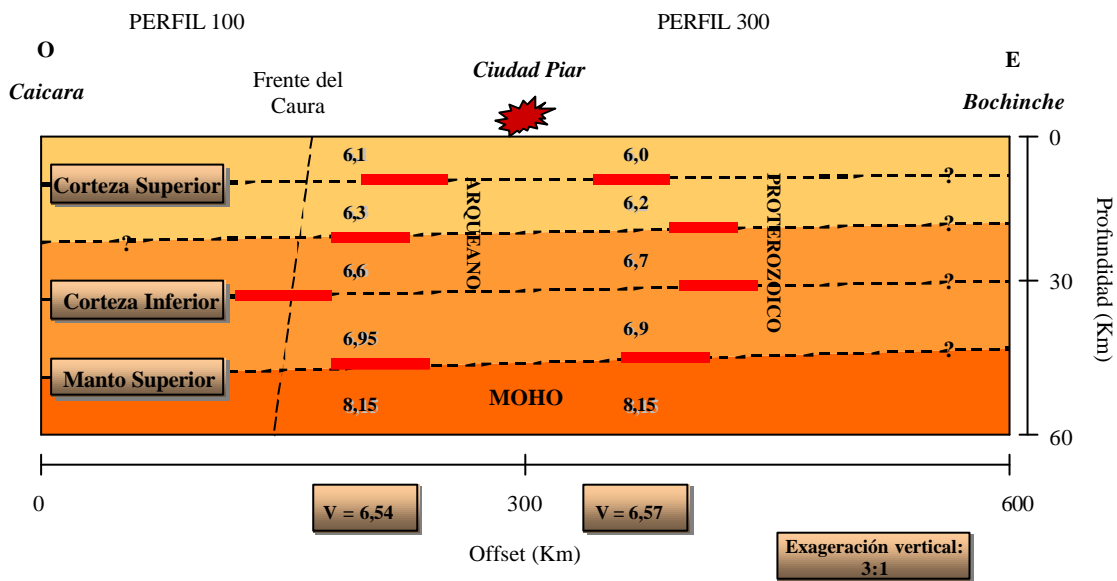


Fig. N°1.4 Mapa de ubicación de los perfiles de adquisición sísmica de Chalbaud (2001)

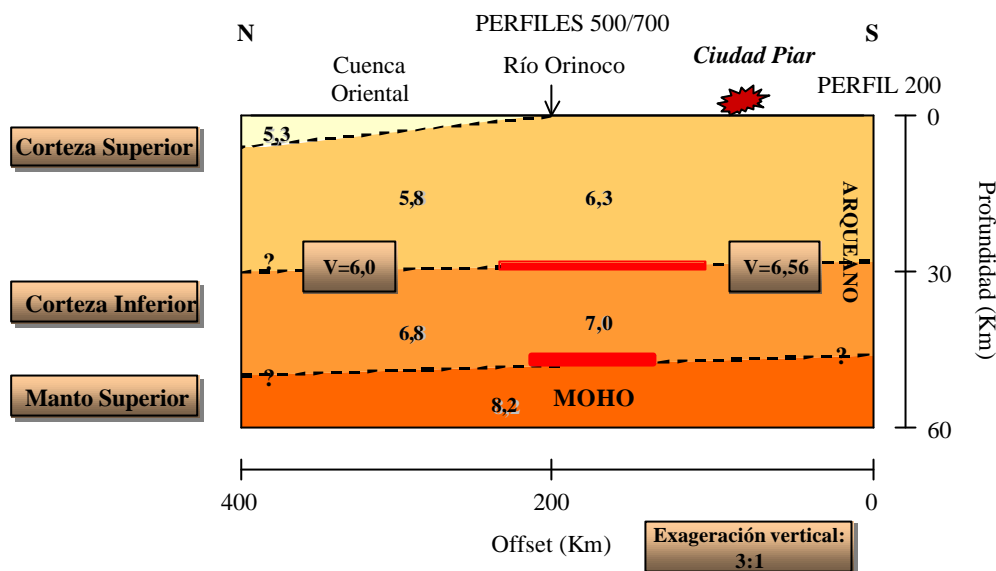
La descripción de los nueve perfiles de adquisición realizados en este estudio permitió definir la estructura, espesor y la evolución geológica del cratón de América del Sur.

El Modelo geológico Fig. N° 1.5 corresponde a la integración de los perfiles 100 y 300 dirección E-W, en el cual Chalbaud (2001) interpretó que la corteza superior está conformada por dos capas, la primera tiene un espesor entre 8-10 Km. con una variación lateral de la velocidad desde 6.1 Km/s (oeste) hasta 6.0 Km/s (este); la segunda capa profundiza hasta 20-21 Km. y presenta una velocidad variante entre 6.3-6.2 Km/s en dirección O-E.



**Fig. N°1.5 Modelo geológico E-W correspondiente a los perfiles 100 y 300 (Chalbaud, 2001)**

Al igual que la corteza superior, la corteza inferior se compone de dos capas, la capa superior profundiza entre 30-32 Km. presentando una variación de la velocidad en dirección O-E de 6.6-6.7 Km/s; la capa inferior muestra una variación de la velocidad de 6.95-6.9 Km/s en la misma dirección, profundizando hasta la Discontinuidad de Mohorovicic.

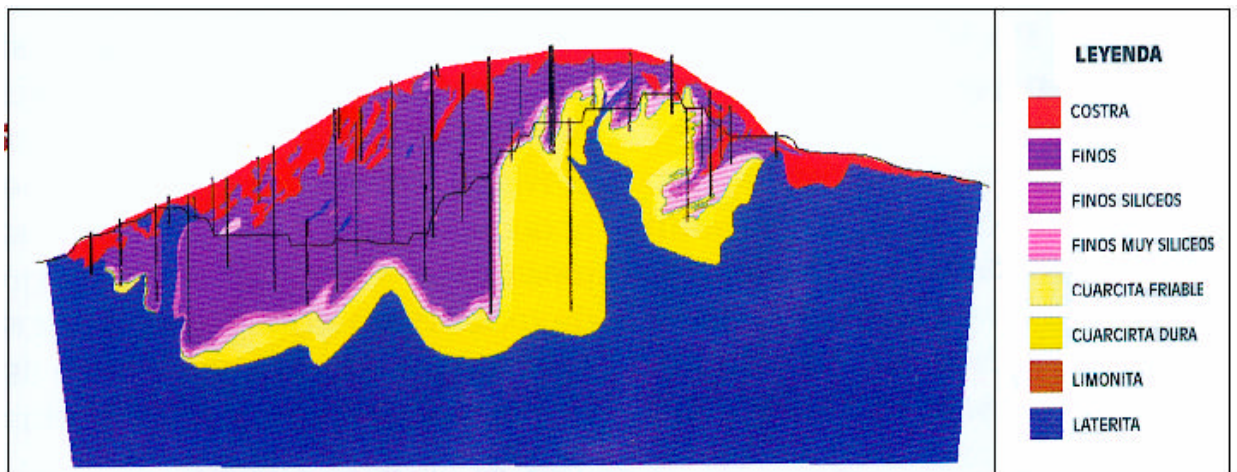


**Fig. N° 1.6 Modelo geológico N-S correspondiente a los perfiles 500, 700 y 200 (Chalbaud, 2001).**

De esta manera, con los dos modelos, Chalbaud (2001) propone que la región arqueana se estableció en correlación con rocas de la Provincia de Imataca, encontrándose que las dos primeras zonas de cambio de velocidad están dominadas por una capa de metasedimentos, seguida de secuencias consistentes de gneisses y rocas granulíticas. Por último una capa conformada por gneiss cuarzoso y cuarcitas ferruginosas profundiza hasta la Discontinuidad de Mohorovicic donde se produce un contraste de velocidades con las rocas ultramáficas del manto superior. En la región proterozoica, la zona de mayor control es el cinturón de rocas verdes de Pastora. En este caso, los contrastes de velocidad observados se deben a secuencias de metareniscas, metaconglomerados, grauwas y limolitas de las formaciones Los Caribes, Caballape y Yuruari. De la misma manera, las metalavas y tobas de las formaciones Cicapra y El Callao pueden producir contrastes de velocidades a mayores profundidades, acompañadas de las rocas graníticas y ácidas del Complejo de Supamo

### 1.4.5 Otros Estudios

Desde hace 40 años Ferrominera del Orinoco ha realizado estudios para la evaluación de yacimientos minerales en la zona de Ciudad Piar; estos trabajos de geología de superficie y de subsuelo han permitido tener un estimado de las reservas probables a mediano y largo plazo. El yacimiento de San Isidro que se encuentra en Ciudad Piar posee un modelo geológico desarrollado con información litológica, la cual proviene de los diseños geológicos previamente elaborados a partir de la geología de superficie y sondeos perforados en las minas.



**Fig. N° 1.7 Evaluación de las reservas geológicas de la mina de San Isidro, esquemático, sin escala. Tomado de León (2003)**

En Venezuela, los yacimientos de mineral de hierro de interés económico se encuentran ubicados en la provincia geológica de Imataca, cuyas rocas son de edad precámbrica y van desde los 2.400 a 3.600 millones de años. La Provincia de Imataca, está representada principalmente por gneises, anfibolitas, migmatitas,

esquistos anfibólicos, cuarcitas y cuarcitas ferruginosas (formaciones de hierro). Se encuentra situada al norte del Escudo de Guayana entre los Estados Bolívar y Delta Amacuro en una faja de 450 kilómetros de largo por 120 kilómetros de ancho. Las reservas geológicas de mineral de hierro están por el orden de 14.634 millones de toneladas. Los yacimientos de mineral de hierro, con tenores entre 55 y 67% de hierro, son producto del enriquecimiento secundario de las cuarcitas ferruginosas por lixiviación de la sílice en ambiente tropical, existiendo básicamente dos tipos de menas: menas de corteza o costras y las menas friables o finos, con un volumen de reservas geológicas del orden de 1.771 millones de toneladas, siendo los principales yacimientos: San Isidro, Cerro Bolívar, Los Barrancos, Las Pailas, Altamira, San Joaquín, Grupo Redondo, Arimagua y María Luisa.

Actualmente están en producción San Isidro, Los Barrancos y Las Pailas, con reservas geológicas estimadas de 591 millones de toneladas. Estos depósitos de menas de hierro conforman el Distrito Ferrífero San Isidro, en conjunto cubren un área de 11 km de largo por 5 km de ancho, y se encuentran localizados en el Estado Bolívar a unos 130 km al suroeste de Ciudad Guayana. Estos yacimientos al igual que Cerro Bolívar, se han formado por concentración residual de óxidos e hidróxidos de hierro a partir de las cuarcitas ferruginosas de la serie Imataca y las menas son igualmente formadas por costras y finos.



## **1.5 MÉTODO DE TRABAJO**

La primera fase para la realización de esta investigación, se incluye la recopilación de información bibliográfica de la zona, la cual abarca los informes de vuelo de la región así como los estudios geológicos de la misma. Los datos tomados para el estudio se fundamentaron en seis mapas como se muestra en la Fig. N° 1.3, que representan el campo magnético total a escala 1:50.000, de la zona norte del estado Bolívar específicamente El Manteco.

El método esta basado en el trabajo de Erasmo (2001), el cual consistió en la generación de una base de datos en formato digital, por medio del programa AUTOCAD (2004). La extracción de los datos aeromagnéticos de los mapas adquiridos, se obtuvo con la finalidad de realizar un análisis estadístico, para tener un mayor control de calidad de los datos y determinar el tipo de distribución que representan los datos de anomalía magnética observada.

Seguidamente se procedió a realizar un análisis geoestadístico a través de la varianza espacial de los datos, lo cual permitió estimar el modelo de anisotropía espacial de los datos, que posteriormente fue de gran importancia al generar el modelo de semivariograma, y de gran utilidad en la creación de los mapas definitivos de intensidad magnética total.

Generado el mapa de intensidad magnetita total se trazaron perfiles, con el fin de realizar un estudio de comportamiento del campo magnético de la zona con base en la geología, para delimitar las áreas de interés exploratorio, y estimar las geometrías de los cuerpos causantes de las anomalías, con el fin de producir los modelos en profundidad.

### 1.5.1 Diagrama del método de trabajo

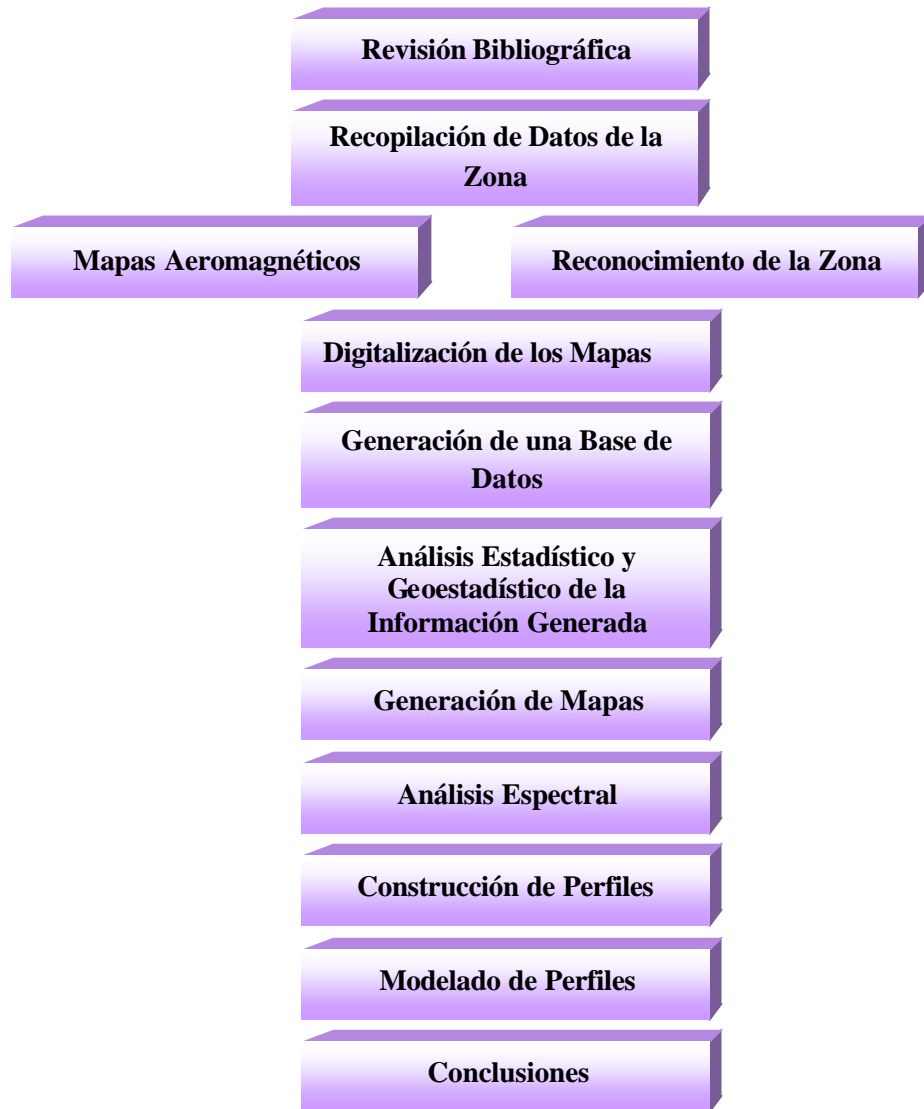


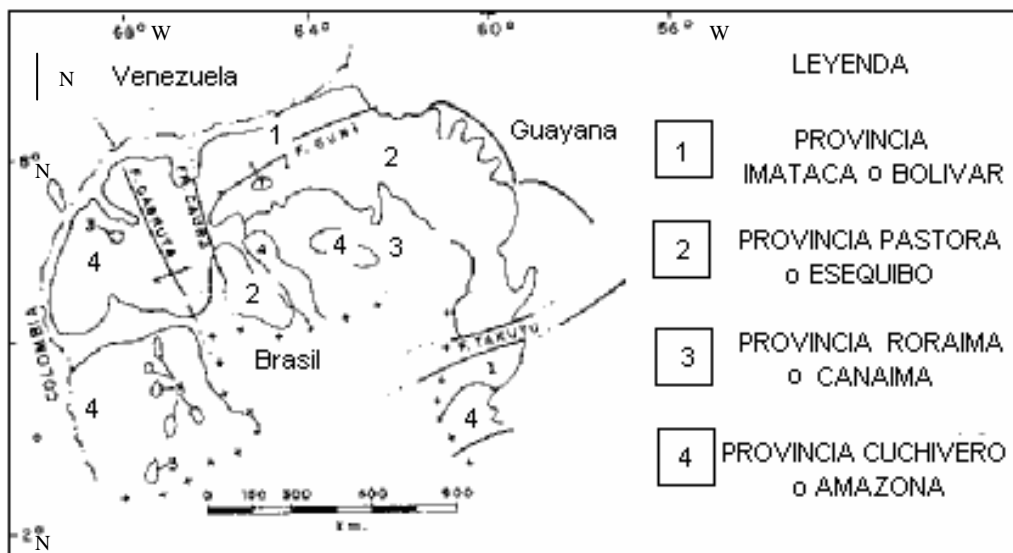
Fig. N°1.8 Metodología de trabajo

## CAPÍTULO II

### MARCO GEOLÓGICO

#### 2.1 GEOLOGÍA REGIONAL

En el Escudo de Guayana se distinguen diferentes tipos de rocas, entre ellas están las ígneas plutónicas y volcánicas, así como también litologías sedimentarias. Éstas han sido divididas en cuatro provincias geológicas: Imataca, Pastora, Cuchivero y Roraima, tal como se muestra en la Fig. N° 2.1 (Menéndez, 1968).



**Fig. N° 2.1. Provincias geológicas del Escudo de Guayana.**  
Nombres según Menéndez (1968) y Mendoza(1977)

### **2.1.1 Provincia Geológica de Imataca**

La Provincia de Imataca está situada en el extremo norte de la Guayana venezolana y ocupa una faja angosta entre el río Caura al oeste y el territorio Delta Amacuro al este, Mendoza (1973,1977).

La provincia geológica de Imataca, según Menéndez (1968), está constituida por un conjunto de rocas metasedimentarias y gneises graníticos plegados e intrusiones graníticas posteriores. Dada su complejidad estructural esta provincia no ha sido subdividida y se le conoce también como Complejo de Imataca, el cual esta constituido por litologías como cuarcitas ferruginosas (rocas ricas en minerales de hierro), anfibolitas, granulitas, gneises máficos y gneises félsicos plegados, mármol dolomítico con importantes mineralizaciones asociadas de manganeso e intrusiones graníticas. Las edades más antiguas detectadas en las rocas de la Provincia de Imataca se encuentran entre 3500-3600 m.a.

- **Complejo de Imataca**

Las rocas que componen el Complejo de Imataca afloran en la parte norte del Estado Bolívar, al este del río Caura y paralelas al río Orinoco hasta penetrar en el Territorio Delta Amacuro; hasta la fecha representan las rocas más antiguas conocidas en la parte norte del escudo, González de Juana et al.(1980).

El Complejo de Imataca consiste en orden de abundancia decreciente, de una secuencia de granulitas plagioclásicas-cuarzo-piroxénicas, granulitas microclínicas - cuarzo plagioclásicas-piroxénicas, gneis cuarzo-feldespático-cordierítico-granatífero-biotítico-silimanítico-grafítico y formaciones de hierro, posee un grado de metamorfismo que varia desde la facies de la anfibolita hasta la de granulita piroxénica. Como litologías secundarias se puede encontrar: cuarcita, caliza impura metamorfizada, roca rodonítica-granatífera, roca cuarzo-granatífero-grafítica y esquisto broncítico-hornabléndico-biotítico. La secuencia está intrusionada por

cuerpos graníticos básicos. El complejo se caracteriza por estructuras anticlinales bien desarrolladas y estructuras sinclinales mal definidas, con rumbo este-noreste. Hacia la porción occidental del complejo, se desarrollan domos equidimensionales, muchos de ellos orientados norte-sur.

Estas rocas afloran como una franja de 65 a 130 km. de anchura y 510 km de extensión inmediatamente al sur del río Orinoco. Su espesor estratigráfico mínimo es de 4 km, como se observa en la Fig. N° 2.2. Las determinaciones de edades radiométricas en rocas del complejo arrojan valores del orden de los 2700 a 3000 m.a. en los gneises y 2000 m.a. en los granitos intrusivos, Espejo (1972).

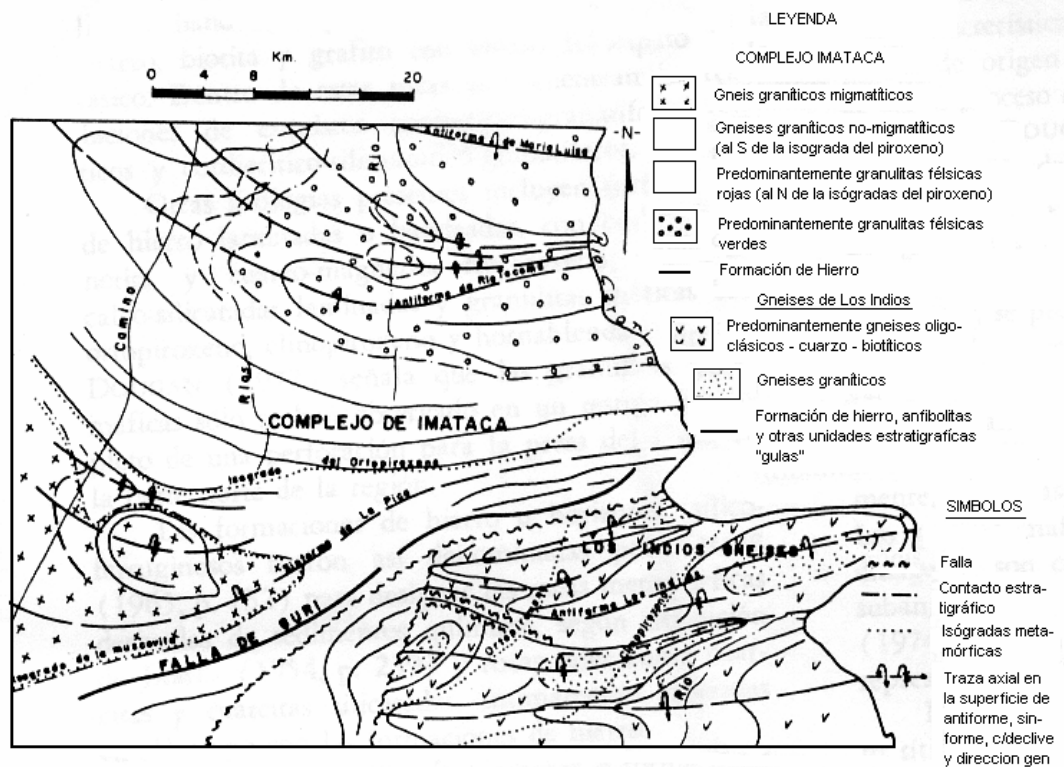


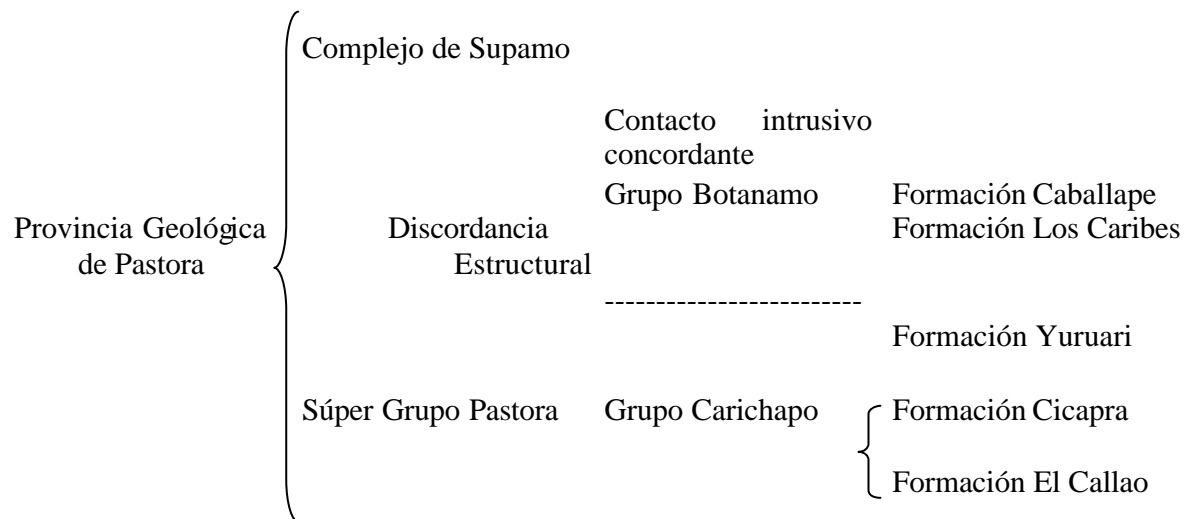
Fig. N° 2.2. Mapa esquemático del Complejo Supamo al oeste del Río Caroní en la región de Los Indios- El Pilar, Represa de Guri. Tomado de Dougan (1972)

## 2.1.2 Provincia Geológica de Pastora

La Provincia de Pastora está definida al sur de la Provincia de Imataca, separada de ésta en su parte oriental por la falla de Guri y en la parte occidental por la falla de Santa Bárbara; al sur está limitada por la Provincia de Roraima. ( Menéndez, 1968). Cubre un área de 50000 km<sup>2</sup>, al sur de la Provincia de Imataca y se extiende hacia el este y sudeste en el Escudo, fuera de Venezuela.

La Provincia de Pastora se caracteriza por rocas volcánicas ácidas, intermedias y básicas con sedimentos asociados, que han sufrido metamorfismo regional de bajo grado, en las facies de los esquistos verdes y de la anfibolita.

Esta provincia está formada por una secuencia supracortical de rocas verdes ubicadas preferentemente en zonas sinclinoides entre domos graníticos (Mendoza 1973,1977). El esquema de la Fig. N° 2.3 resume la relación entre las litologías propias de la Provincia de Pastora, así como su relación estratigráfica.



**Fig. N°2.3 Provincia Pastora. Tomado de Menéndez (1972)**

- **Súper Grupo Pastora**

Las formaciones constituyentes del Súper Grupo Pastora son El Callao, Cicapra y Yuruari. Las dos primeras conforman el Grupo Carichapo.

- **Grupo Carichapo**

El Grupo Carichapo consiste de metalava y metatoba basálticas, toleíticas y comatiíticas, y una menor proporción de rocas volcánicas ultramáficas de afinidad química comatiítica y de metajaspe; en las zonas de mayor metamorfismo está constituida de anfibolitas y cornubianitas hornbléndicas y metacuarcitas mangano-ferríferas. (Menéndez, 1972).

- **Formación El Callao**

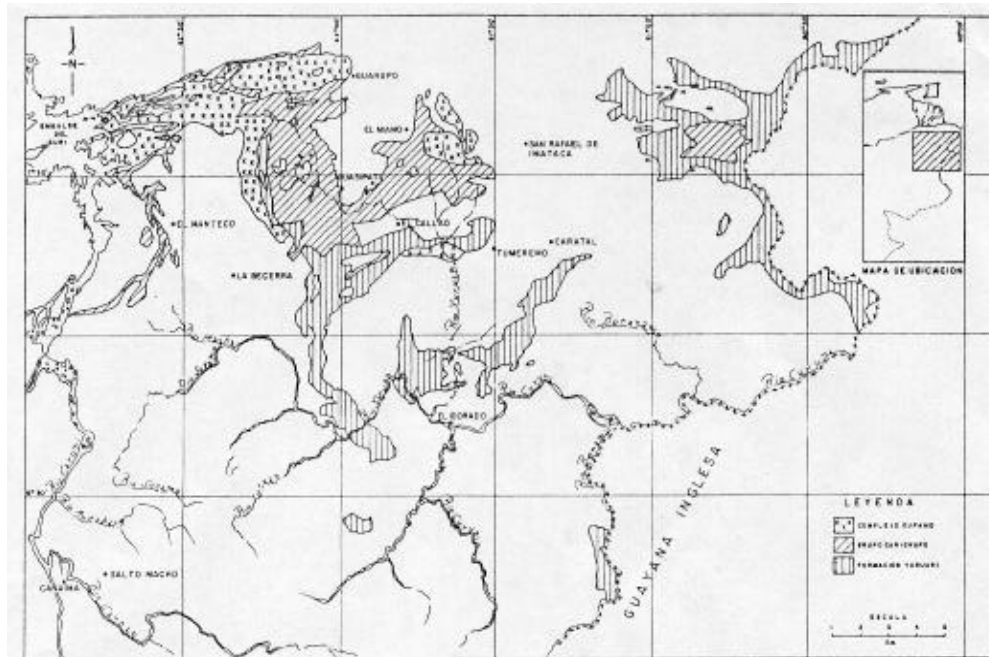
La unidad consiste casi en su totalidad de metalavas de composición basáltica (Menéndez, op. cit.); comúnmente exhiben estructuras en almohadillas hasta de 2 m de diámetro, que presentan amígdalas principalmente de cuarzo que se concentran en el tope de los flujos, además de fracturas radiales rellenas de epidoto y cuarzo; algunas coladas presentan estructura columnar. La unidad ha sido afectada por metamorfismo regional de bajo grado, facies del esquisto verde, que localmente, en las zonas de contacto con masas graníticas, pasa a facies de la anfibolita.

- **Formación Cicapra**

Según Menéndez (1968; 1994), la Formación Cicapra tiene una litología distintiva de esquistos anfibólicos (80%) derivados de brechas y tobas de composición basáltico-comatiítica, y de lodolitas, areniscas y conglomerados grauváquico-volcánicos, muy pobres en cuarzo. Localmente se intercalan en la secuencia, basaltos comatiíticos y jasperoides recristalizados (cuarcitas manganesíferas y ferruginosas). La unidad está intrusionada por sills y diques de pórfido de cuarzo y felsitas, más abundantes cerca de los plutones de Mandingal y Cerro Pelón que también intrusionan a la unidad. Presenta metamorfismo en la facies de los esquistos verdes; aumentando el metamorfismo hacia el norte y noreste de Guasipati a la facies de la anfibolita

- **Formación Yuruari**

La Formación Yuruari se ubica cerca del río Yuruari en el municipio autónomo Roscio del Estado Bolívar, Fig. N°2.4. La litología es esencialmente un producto de volcanismo dacítico o riodacítico muy bien desarrollado en su parte media y superior donde contiene lavas, brechas y tobas, además de areniscas y limolitas feldespáticas de estratificación delgada (Menéndez, 1994). La formación muestra una secuencia de plegamiento isoclinal, esquistosidad paralela a la estratificación y metamorfismo regional de intensidad variable dentro de la facies del esquisto verde y localmente metamorfismo térmico, hasta la facies de la corneana hornbléndica, en el contacto con rocas graníticas.



**Fig. N° 2.4 Mapa de afloramiento del Complejo Supamo, Grupo Carichapo y Formación Yuruari en la parte oriental del Estado Bolívar. Simplificado de Mapa Geológico 1:500.000, M.E.M., Dirección de Geología**



- **Complejo Supamo**

El Complejo Supamo consiste en rocas ígneas ácidas de carácter sódico, paragneises cuarzo feldespáticos y zonas de migmatitas. Entre las rocas ígneas se han descrito granodioritas, cuarzo dioritas, tonalitas y trondhjemitas, esencialmente; estas rocas constituyen cuerpos dómicos (Menéndez, 1972; Benaím, 1972; Espejo, 1974).

- **Grupo Botanamo**

La secuencia de rocas incluidas en este grupo la conforman: la Formación Caballape y la Formación Los Caribes, que constituyen el cinturón de rocas verdes más joven dentro de la Provincia Geológica de Pastora.

- **Formación Los Caribes**

La Formación Los Caribes está compuesta por metaconglomerados polimícticos, mal escogidos, lenticulares, de color verdoso a gris verdoso, ricos en fragmentos volcánicos ácidos e intermedios y escasos fragmentos de granito rosado muy fino, así como filitas cuarzo sericíticas, metareniscas de grano fino y metalimolitas, laminadas y finamente estratificadas, compuestas esencialmente por cuarzo y hematita que les da el color rojo a la unidad, sericita y muscovita, Benaím (op.cit.)

- **Formación Caballape**

Menéndez (op. cit.), en la región de Guasipati, la describió como formada en un 80% por rocas epiclásticas, limolitas laminadas, grauvacas, conglomerados y un 20% de piroclásticas, tobas y brechas, todas levemente metamorfozadas. De acuerdo a la descripción, el rasgo litológico característico de la Formación Caballape es su contenido de metalimolitas volcánicas laminadas y compactas con alto contenido de epidoto, que les da un color distintivo, verde oliva pálido. Estas rocas se intercalan íntimamente con metagrauvacas volcánicas de grano medio a conglomerados, de color verde oliva a gris verdoso oscuro, y ocasionales capas de metaftanita negra.

### **2.1.3 Provincia Geológica de Cuchivero**

Está ubicada hacia la parte sur-central y occidental del Escudo de Guayana venezolana y se extiende al sureste de Guayana, Surinam y la Guayana Francesa. Litológicamente, la provincia está compuesta por grandes extensiones de rocas plutónicas de emplazamiento epizonal y epimesozonal y rocas metavolcánicas y metasedimentarias, éstas últimas en menor proporción.

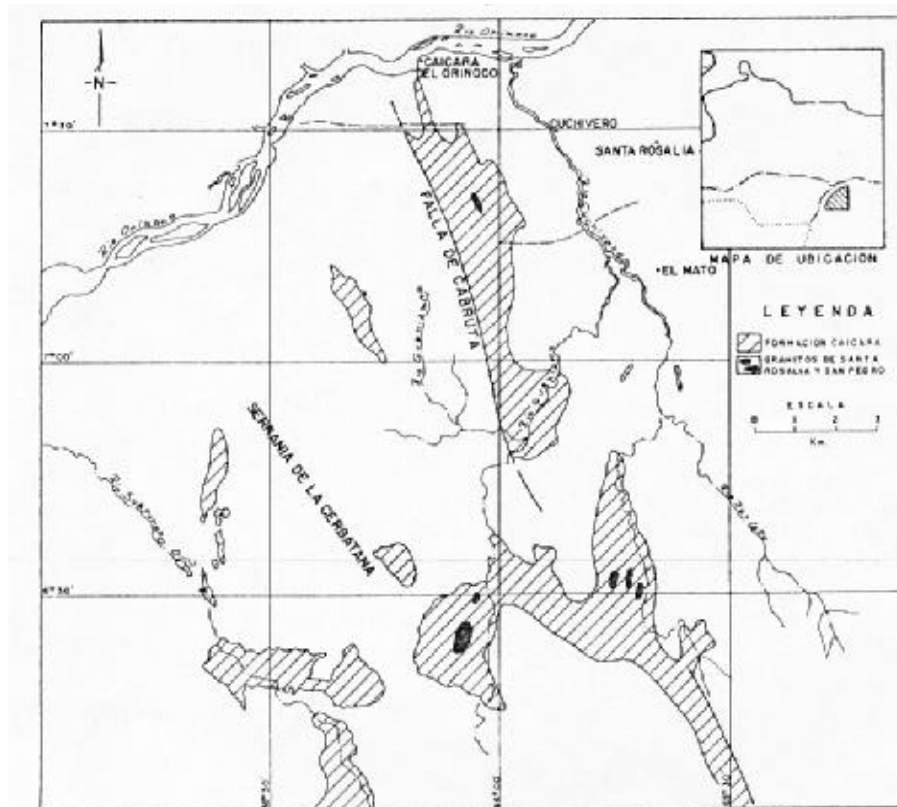
#### **Súper Grupo Cedeño**

- **Grupo Cuchivero**

El Grupo Cuchivero está constituido por las siguientes secuencias: Formación Caicara, Granito de Guaniamito y Granito de Santa Rosalía.

- **Formación Caicara**

Ríos (1972) designa con este nombre a la secuencia de rocas extrusivas ácidas expuestas en la región noroccidental del Estado Bolívar, al oeste del río Cuchivero – sur de Caicara, como se muestra en la Fig. N° 2.5. Está constituida por un conjunto de rocas volcánicas predominantemente ácidas, tales como riolitas y riolitas porfídicas y porfiríticas con matriz de grano fino a medio, seguidas en orden de abundancias por riolitas y dacitas porfídicas. En la región de Caicara del Orinoco aflora en un área aproximada de 2000 km<sup>2</sup>. Rocas similares han sido descritas en la región sur - central del Estado Bolívar, en el área del río Suapure y en la región sur - central del Estado Amazonas.



**Fig. N°2.5 Mapa de afloramiento de la Formación Caicara, al oeste del Río Cuchivero, Estado Bolívar. Simplificado del Mapa Geológico a escala 1:500.000**

○ **Granito de Guaniamito**

Ríos (1969) propone este nombre para designar a un conjunto de rocas de composición granítica, con textura gnéssica, que afloran extensamente al oeste del río Cuchivero. La unidad está constituida por rocas de composición granítica, ricas en minerales félsicos en gran parte con textura gnéssica, de grano medio a grueso, holocristalinas, porfídicas, que hacia las zonas de contacto con las rocas volcánicas muestran indicios de metasomatismo y de deformación mecánica.

- **Granito de Santa Rosalía**

El Granito de Santa Rosalía aflora extensamente en el valle de los ríos Cuchivero y Guaniamo y soporta las mayores elevaciones de la región. Es un granito biotítico, color rosado a gris, de grano fino a grueso, con predominio de la fracción de grano medio a grueso, macizo, fanerocristalino, porfídico, que en zonas restringidas muestra foliación débil.

- **Granito de San Pedro**

Mendoza (1974) introduce este nombre para designar unas rocas graníticas leucocráticas, de aspecto subvolcánico, que afloran en los alrededores del río Suapure, Estado Bolívar. El granito es de grano fino, leucocrático, masivo a moderadamente foliado, con aspecto subvolcánico.

- **Metabasita**

Con este término Moreno y Mendoza (1975) denominan a todas las rocas metamórficas de carácter máfico que afloran en la región del Alto Supamo, en las cabeceras de la quebrada Bocón, afluente del río Caroní-Surama y el río Supamo. Según esos autores estas rocas son similares y/o equivalentes a remanentes erosionales de los cinturones de rocas verdes. Las áreas de afloramientos de las metabasitas son pequeñas y no se han podido observar las relaciones entre los diferentes tipos de ellas, ni con las rocas del Complejo de Supamo que las rodean, o en las cuales están embebidas.

- **Grupo Suapure**

Mendoza (1974) propuso este nombre para incluir dos unidades de rocas ígneas ácidas, al Granito de Pjiguao y al Granito de Parguaza

- **Granito Parguaza**

McCandless (1965) distinguió a la unidad original con el nombre de Granito del Parguaza para referirse a la masa de granito biotítico homogéneo, con textura

porfídica que aflora al suroeste del río Suapure, Estado Bolívar. Mendoza (1972) describe la roca como un granito biotítico de grano grueso a muy grueso, masivo, con textura rapakivi, rico en feldespatos potásicos y hornblenda.

- **Granito de Pijigao**

Mendoza (1974) propone el término Granito de Pijigao, para designar a un granito leucocrático, de grano fino, de aspecto subvolcánico, que aflora en el área del río Suapure y que podría extenderse por las partes bajas de los ríos Parguaza, Villacoa y Ventuari. Mendoza (op. cit.) incluye esta unidad en el Grupo Suapure, a su vez constituyente del Supergrupo Cedeño, ambos términos propuestos por el mismo autor. El granito es de grano fino a medio, de color rosado salmón, macizo, de aspecto subvolcánico

## 2.2 GEOLOGÍA LOCAL

La región El Manteco – Guri se encuentra ubicada en el Estado Bolívar, en la zona norte del Distrito Piar en una ventana de trabajo de longitud 62° 30'W– 63° 15'W y latitud: 7° 00'N – 7°30'N.

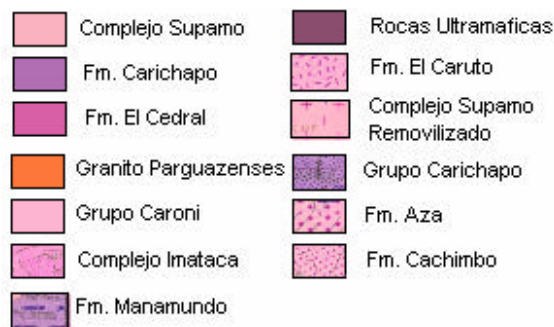
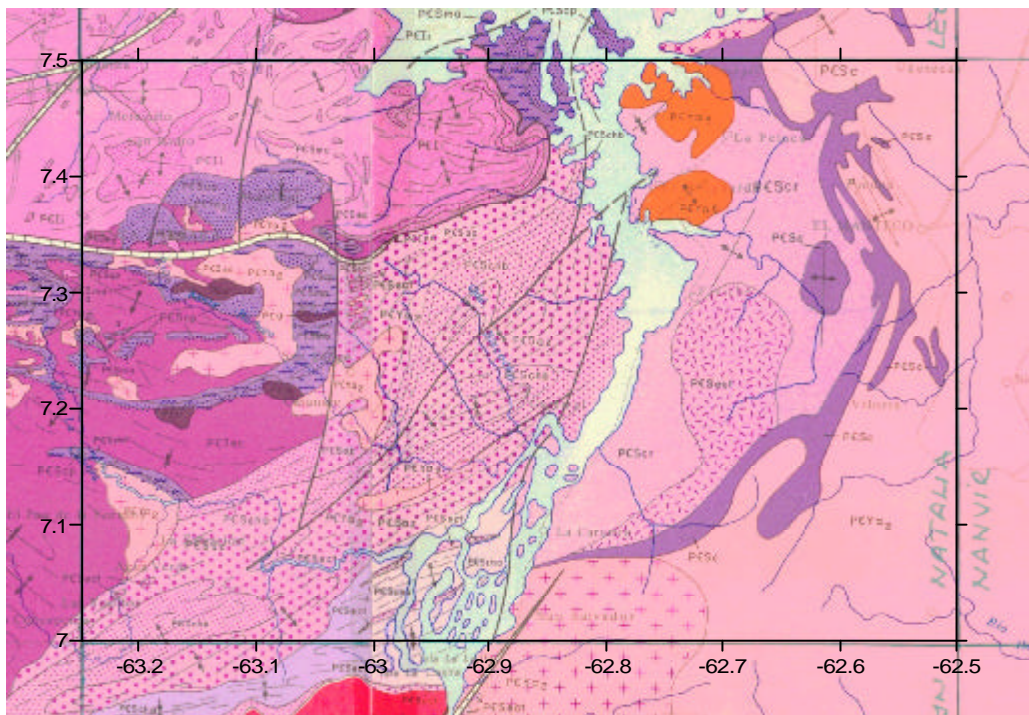


Fig. N° 2.6 Mapa Geológico tomado del Ministerio de Minas e Hidrocarburos 1976

En cuanto a la geología local se puede diferenciar en la región de El Manteco - Guri tres unidades volcánicas – sedimentarias metamorfizadas; de más antiguas más joven se encuentran: Formación Carichapo, Formación Yuruari y Formación La Cuaima; la secuencia está en relación concordante e intrusionada por el Complejo de Supamo. Los Granitos Jóvenes se integran igualmente a toda la secuencia y el cinturón Paragua - Caroní

Granitos Jóvenes
Contacto Intrusivo
Complejo Supamo Removilizado
Contacto Intrusivo
Formación Cuaima
Formación Yuruari
Formación Carichapo
Complejo Supamo Pre - Reactivación

Columna Estratigráfica del área  
El Manteco - Guri

**Fig. N° 2.7 Columna Estratigráfica del área El Manteco – Guri,  
Tomado de Espejo (1972)**

- **Formación Carichapo**

Estas rocas cubren aproximadamente una tercera parte del área El Manteco – Guri; afloran como cuerpos irregulares, generalmente alargados y en la mayoría de los casos muestran continuidad estructural; generalmente forman sinclinales angostos bordeados por cuerpos graníticos de Supamo, (Espejo, 1972). La litología distintiva de la formación consiste en anfibolitas de grano fino, finamente foliadas, con variedades algo más gruesas; todas con material cuarzo – feldespático intersticial y finamente ínter-bandeado, algunas densas de grano muy fino, e intercalaciones menores, lenticulares, de metachert ferruginoso – manganesífero.

- **Formación Yuruari**

La formación aflora sobre unos 200 km.<sup>2</sup> en la parte sur de la región y adquiere mayor desarrollo al oeste del río Caroní. En el área de El Manteco – Guri se caracteriza litológicamente por la estratificación delgada a laminada de metagrauvasas feldespáticas, metagrauvasas volcánicas, limolitas, tobas, brechas tobáceas y coladas de lavas dacíticas. Esta unidad desarrolla un plegamiento isoclinal. (Espejo, 1972)

- **Formación La Cuaima**

Las rocas de esta unidad están metamorfizadas regionalmente en la facies de los esquistos verdes. La formación es concordante por encima de la Formación Yuruari; se desconoce su relación con rocas jóvenes. En El Manteco – Guri se estiman unos 1.000 m de espesor mínimo.

La roca característica es verde claro a verde oscuro con tonos grises, homogénea y maciza; algunos tipos de grano fino exhiben cierta foliación. A menudo la roca muestra mineralización de pirita, calcopirita y menor mineralización fina de oro.

- **Complejo Supamo**

Las rocas del Complejo Supamo cubren un 60% de la región de El Manteco. Como el resto del Escudo de Guayana, poseen una forma de estructuras arqueadas de



dimensiones batolíticas, separadas entre sí por franjas de la secuencia volcánico – sedimentaria, o cinturones de rocas verdes (Anhauesser, 1969).

El complejo consiste en rocas ígneas ácidas de carácter sódico, paragneises, cuarzo feldespático y zonas de migmatitas. Entre las rocas ígneas se han descrito granodioritas, cuarzo dioritas, tonalitas y trondhjemitas, esencialmente; estas rocas constituyen cuerpos dómicos (Menéndez 1972; Benaím 1972; Espejo 1974). Algunos de estos cuerpos dómicos elipsoidales son los Domos de Santa Justa y El Foco.

- **Granitos Jóvenes**

Espejo (1972) designa una serie de cuerpos graníticos de extensión superficial limitada, intrusivos en rocas tanto del Complejo de Supamo como de la secuencia volcánico - sedimentaria a diferentes niveles estratigráficos. A diferencia de las rocas de Supamo éstas son rocas graníticas potásicas sin foliación o moderadamente foliadas, cuyo emplazamiento únicamente trunca el patrón estructural de la roca caja sin producir disturbios.

En el área de El Manteco – Guri se han identificado tres cuerpos de estos Granitos Jóvenes que son: Granito Alaskítico de Las Queseras, Granito Porfídítico de Guásimo y Granito Biotítico de Yagrupal.

- **Granito Alaskítico de Las Queseras**

Éste es un cuerpo ovalado que alcanza los 35 km.<sup>2</sup> en la parte nor-occidental del área. El granito intrusióna rocas del Complejo Supamo hasta niveles inferiores de la Formación Carichapo. La roca es de grano grueso a medio, generalmente maciza con foliación moderada.

- **Granito Porfídítico de Guásimo**

Este cuerpo granítico de unos 50 km.<sup>2</sup>, intrusióna a la Formación Carichapo y en parte a la Formación Yuruari en el extremo occidental

de la región el Manteco – Guri. La roca plutónica es un granito porfidítico rosado de grano medio a grueso, con cristales bien desarrollados de feldespatos de hasta 4 cm de longitud.

- **Granito Biotítico de Yagrupal.**

Este es un cuerpo elipsoidal de granito de unos 35 km.<sup>2</sup>, intrusivo en las rocas de la Formación Yuruari, con desarrollo de una franja angosta de metamorfismo de contacto, donde los metasedimentos pelíticos están alterados a esquistos muscovíticos, sericiticos y cloríticos, y en las metavolcánicas se observa recristalización de los minerales.

- **Cinturón de Rocas Verdes.**

Se denomina Cinturón de Rocas Verdes a estructuras de grandes dimensiones, constituidas de secuencias supracorticales volcánico- sedimentarias envueltas por cuerpos graníticos sódicos, con los cuales cubren extensas áreas en los escudos Precámbricos; en su mayoría son de edad Arqueozoico, pero existen una menor cantidad de edad proterozoico, como es el caso de los que afloran en el Escudo de Guyana. La secuencia estratigráfica de un típico cinturón de rocas verdes del Arqueozoico, lo describe Anhaeusser (1986); se inicia con una unidad de rocas volcánicas máfico – ultramáficas, continúa con una unidad de volcánicas máfico – félsicas, luego una unidad sedimentaria de rocas volcánicas calcoalcalinas, grauvacas y lutitas, para terminar en una unidad sedimentaria arenácea de cuarcitas, subgrauvacas y conglomerados. Los cinturones del Proterozoico Temprano contienen la misma secuencia, excepto por el pobre desarrollo de lavas ultramáficas en la unidad máfico – ultramáfico inicial. En la Guayana Venezolana se ubicado CRV y remanentes de los mismos de las Provincias de Pastora y de Imataca.

- **Los CRV de la provincia de Pastora**

En la Provincia Pastora afloran cuatro CRV, tres de los cuales tiene una orientación primaria general Norte – Sur a Noreste, el de Guasipati, el de La Introducción y el del Caroní, y uno de orientación primaria general Este – Oeste a Noreste en el extremo Sureste de la Provincia que denominamos CRV de El Dorado.

- **El CRV del Caroní**

El CRV del Caroní se inicia al Norte, en la falla de Guri, en contacto de falla con el Complejo de Imataca; su parte Norte por el valle del Caroní y está cubierta parcialmente por el lago de la represa de Guri, luego se extiende, hasta desaparecer por debajo de las rocas del Grupo Rorima y del Grupo Cuchivero. Este cinturón ha sido cartografiado por Chase(1965) en su extremo Norte, por Espejo (1974) en sus afloramientos al Este del Caroní y por Martín (1974;1979) al oeste del mismo río.

Las principales unidades geológicas del cinturón Caroní, son Santa Bárbara, Caroní y el Grupo Chiguao; estas formaciones conforman el cinturón de rocas verdes Caroní – Paragua. Estas unidades geológicas son correlacionables con las que afloran en el cinturón de rocas verdes de Guasipati, el cual está constituido por Yuruari, Carichapo y Botanamo.

- **Formación El Cedral**

La primera referencia a esta unidad es la publicación informal de Martín (1975), Menéndez (1994) la describe someramente como una secuencia constituida fundamentalmente por paragneises cuarzo-oligoclásico biotíticos bandeados, cuarcitas ferruginosas, paragneises cuarzo-muscovítico biotíticos, cuarzo feldespático- anfibólicos y gneises graníticos, para señalar la unidad inferior de su Grupo Carichapo o Santa Bárbara, localizada en la región Orinoco - Caroní - Aro -

Paragua. Menéndez (op.cit.) considera la unidad como parte del Complejo de Supamo.

- **Grupo Caroní**

Martín (1974) introduce este término para describir un conjunto de rocas volcánicas dacíticas, y epiclásticas y volcanoclásticas asociadas, al oeste del río Caroní, en la región Aro-Caroní-Paragua. La Formación Cachimbo, esencialmente volcánica, comprende la parte inferior de la unidad y la Formación Aza de rocas volcanoclásticas y turbidíticas ocupa la parte superior. La unidad representa parte de la secuencia supracortical en el cinturón de rocas verdes del Caroní de la Provincia Geológica de Pastora, y correlaciona con la Formación Yuruari del cinturón de rocas verdes de Guasipati en la misma provincia (Menéndez, 1994).

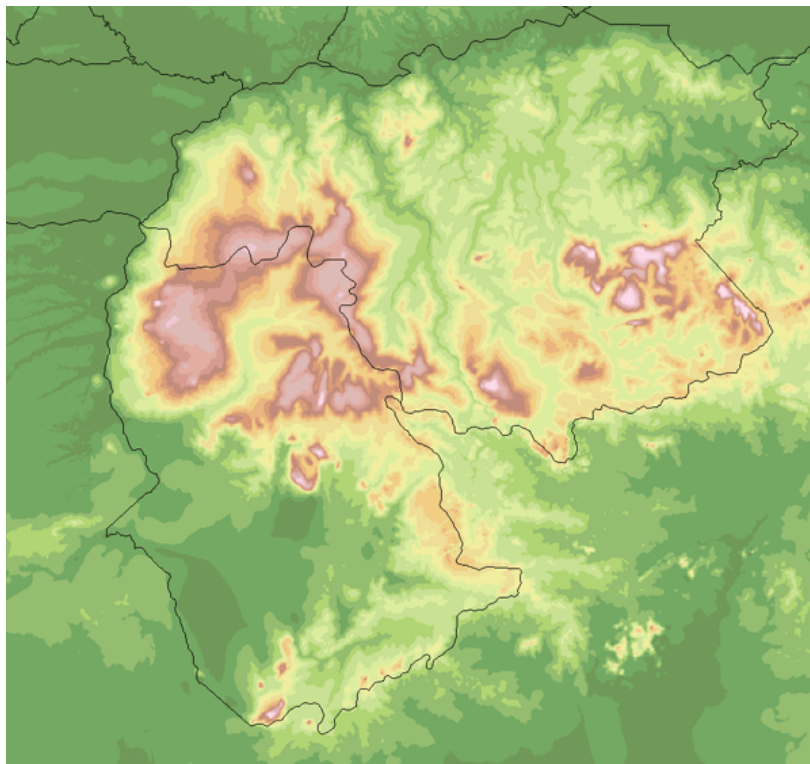
- **Grupo Chiguao**

Martín (op.cit.) y Menéndez (1994), incluyeron en la parte inferior de esta unidad a la Formación Chara, constituida por una secuencia de flysh. Chara infrayace con suave discordancia angular a la Formación Maracapra, que ocupa la parte superior y esta constituida por areniscas cuarzo- hematíticas intercaladas con limolita filítica de color rojo vino tinto y areniscas conglomeráticas. Martín (op. cit.) correlaciona el Grupo Chiguao con el Grupo Botanamo.

### 2.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL DEL ÁREA

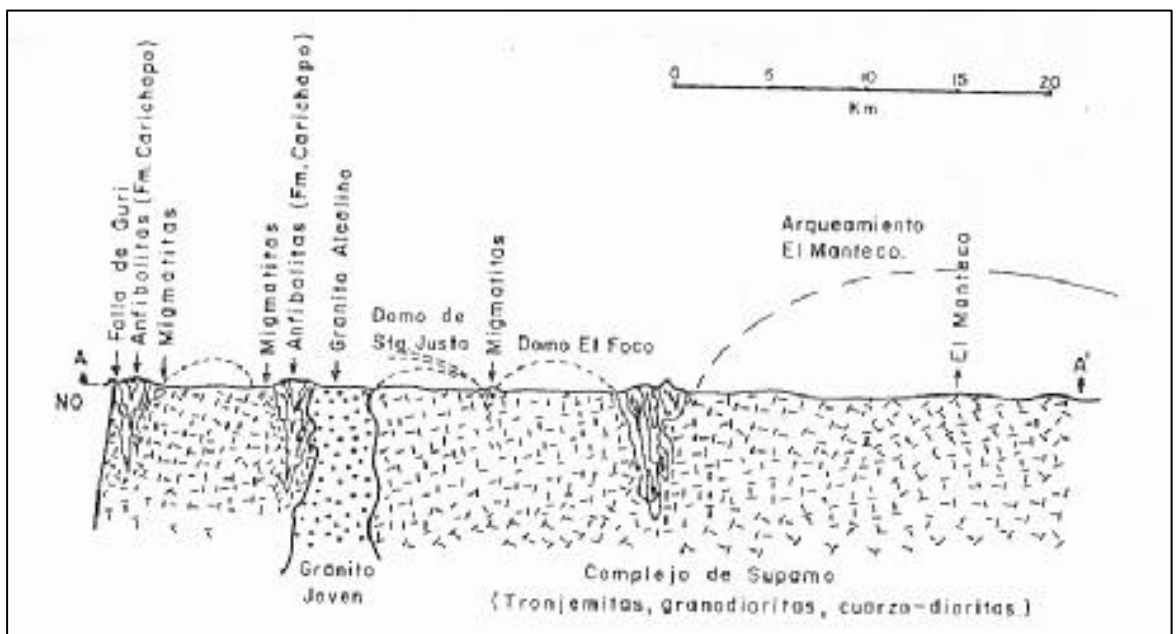
Se denomina Escudo de Guayana al conjunto de rocas de edad precámbrica, limitado por las cuencas de los ríos Amazonas y Orinoco, el margen Atlántico y las cuencas sedimentarias subandinas. La parte norte del Escudo de Guayana que aflora en Venezuela equivale a 45% del territorio nacional emergido.

Las estructuras geológicas del Escudo de Guayana en Venezuela tienen dirección Noreste, la cual adoptó el drenaje principal de la región hasta cuando el río Orinoco, a causas del levantamiento de la Cordillera de Los Andes, fue obligado a correr hacia el Este. El río Cuyuní drena hacia el Este controlado por la Gran Sabana, la Sierra Imataca y la Sierra de Nuria. La Sierra Imataca, donde aflora el complejo ígneo–metamórfico del mismo nombre, tiene dirección Noreste a partir del Cerro Bolívar.



**Fig. N°2.8 Mapa Fisiográfico**  
(Tomado de Rocas Industriales de Venezuela, Capítulo 4, en pagina web, 2004)

En la región de estudio no existe un patrón estructural definido; la dirección de las estructuras mayores y menores está regida por la tendencia de las rocas metamórficas a conformar los cuerpos dómicos del Complejo Supamo. (Espejo, 1972) Las estructuras más importantes que definen el patrón estructural en El Manteco - Guri son el Domo de Santa Justa, el Domo de El Foco y el borde occidental del Arqueamiento de El Manteco, tal como se muestra en la Fig. N°2.9.

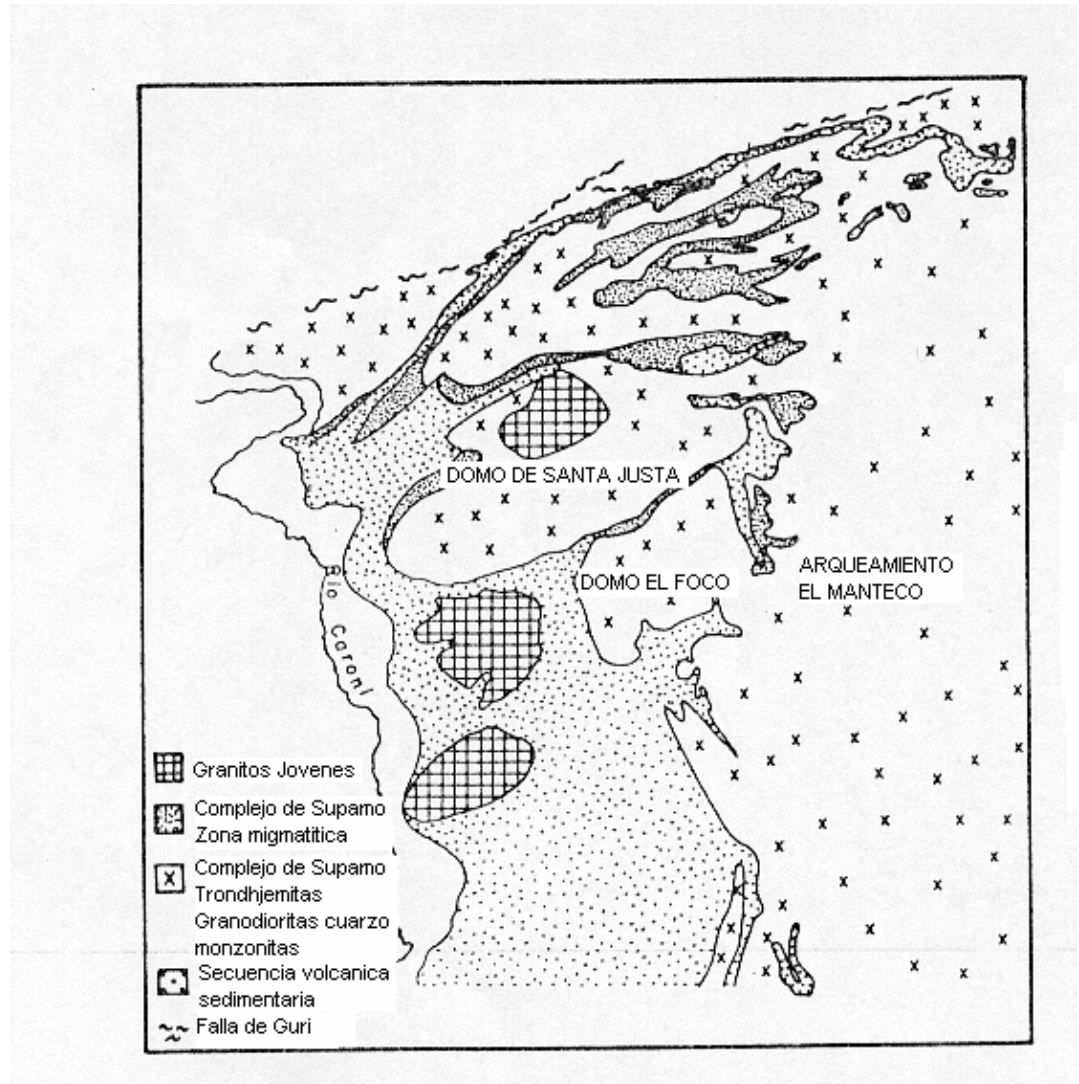


**Fig. N° 2.9 Corte Esquemático del área El Manteco-Guri. Tomado de ESPEJO (1974)**

- **Domo de Santa Justa**

El domo de Santa Justa es un cuerpo elipsoidal con unos 800 km.<sup>2</sup> de superficie ubicado en la parte central de la región del estudio (Fig. N° 2.10). Está constituido por rocas del Complejo Supamo, de composición predominantemente granodiorítica a trondhjemítica y bordeado por la

Formación Carichapo. En la parte norte está intrusionado por el Granito Alaskítico de Las Queseras.



**Fig. N° 2.10 Relación entre el Complejo Supamo, los Granitos Jóvenes y la secuencia volcánico sedimentaria en la región El Manteco - Guri. Tomado de Espejo (1974)**

- **Domo de El Foco**

En la parte central de la región El Manteco - Guri existe un cuerpo dómico de rocas graníticas de forma irregular sobre unos 120 km.<sup>2</sup>. Esta masa granítica está encerrada por rocas de las formaciones Carichapo y Yuruari, y separada del Domo de Santa Justa por una agosta zona migmatítica. Aunque se observan los diferentes tipos petrológicos de Supamo, predomina el de granodiorita. Este cuerpo posiblemente constituye a profundidad una sola unidad con el Domo de Santa Justa.

- **Arqueamiento de El Manteco**

En el extremo oriental y sub -oriental de la región se reconoce una variedad de rocas graníticas sódicas en el Complejo Supamo, predominantemente cuarzo – monzonitas y cuarzo – dicritas, que corresponde al borde occidental del Arqueamiento de El Manteco.

- **Pliegues**

Según Espejo (1972), en la parte norte y central de la región los pliegues mayores y la foliación de las rocas graníticas y metamórficas se orientan en general N60 – 70°E. Pero hacia la parte oriental y suboriental, los ejes de los pliegues son norte-sur a N30°O. En el área de afloramiento del Gneis Trondhjémítico de Pueblito alternan pliegues alargados apretados, con rumbo N 60°E. La Formación Carichapo aflora como bandas discontinuas o vestigios erosionales alineados paralelamente a los ejes de los sinclinales. Donde esta unidad ha desaparecido por erosión, la zona migmatítica conserva el mismo hábito estructural, mientras que las estructuras positivas siguen los terrenos graníticos. Los ejes de micropliegues en los gneises y zonas migmatíticas son paralelos a los ejes de plegamiento de las estructuras mayores.



- **Fallas**

- **Sistemas de Falla Principales**

Existen dos sistemas principales de fallas, con rumbos aproximados N70°E y N30°O respectivamente. Las primeras, más comunes y extensas, paralelas a las estructuras, por lo general no desplazan a los contactos; parecen fallas verticales o de ángulo alto. Las fallas N30°O son más pequeñas, de movimiento vertical, que en la mayoría de los casos ha eliminado parte de la sección.

## 2.4 EVOLUCIÓN TECTÓNICA DEL ESCUDO DE GUAYANA

Para establecer cualquier teoría de evolución tectónica del Escudo de Guayana es preciso tomar en consideración que dicho escudo se extiende desde alrededor de los 51° W de longitud, entre los 1° N hasta 9° N de latitud, a través de Guayana Francesa, Suriname, Guyana, Venezuela, Colombia y el norte de Brasil. La parte venezolana del Escudo de Guayana constituye su expresión septentrional y difícilmente se podría, en base a su estudio, tratar de establecer una historia tectónica que englobe todos los procesos que intervinieron durante la evolución del escudo como unidad geológica. El análisis total excede los límites de esta obra, por lo que se limitará a sintetizar la información sobre el Escudo de Guayana en territorio venezolano.

De los estudios efectuados hasta la fecha, solamente los de Martin B. (1974) y Mendoza (1973, 1977a) tratan sobre la evolución tectónica del Escudo de Guayana. Por otra parte, debemos mencionar que existen todavía extensas regiones, como el Estado Amazonas, que por su inaccesibilidad se encuentran explorados en forma preliminar. Por ello, los principales eventos tectónicos determinados en base a las edades radiométricas existentes, pueden sufrir modificaciones en el futuro una vez se disponga de nuevas determinaciones con mayor significado estadístico.

En general se puede considerar que las rocas que componen la parte venezolana del Escudo de Guayana se han podido formar de la siguiente manera:

3600 m.a	Desarrollo de corteza primitiva (protolito).
3400 m.a	Provincia Imataca o Bolívar: Cinturón móvil.

### **Orogénesis Guriense**

	Ftanita, formaciones de hierro, carbonatos, grauvacas y lavas calcoalcalinas, formados en ambiente geosinclinal.
3400 – 3100 m.a	Metamorfismo regional y politermal (granulitas).

3100 – 2700 m.a Deformación por flujo plástico (migmatitas y pliegues de flujo).  
Levantamiento, fallamiento (fallas de Guri y Kanuku) y erosión.

### **Discordancia Regional Estructural**

2600 – 2400 m.a Provincia de Pastora o Esequibo: Cinturón Móvil.

### **Orogénesis Pre-Transamazónica**

2400 – 2200 m.a Intrusión y extrusión de rocas máficas y ultramáficas; sedimentación pelágica en una cuenca geosinclinal.  
Sedimentación, flysch, hundimiento y metamorfismo regional (esquistos verdes-anfibolitas). Plutonismo, emplazamiento de granitos sódicos; metamorfismo de contacto y migmatitas. Domos y antiforres graníticos contra sinforres de rocas verdes. Fallas arqueadas y fallamiento posterior transcurrente.  
2200 – 2100 m.a Levantamiento del bloque Pastora o Esequibo, fallamiento y sedimentación de una facies próxima a molasa en la parte superior del Grupo Botanamo.

### **Discordancia Estructural**

2000 m.a Provincia de Cuchivero o Amazonas: Bloque magmático ácido poco tectonizado.

### **Orogénesis Transamazónica**

Levantamiento del bloque continental Imataca – Pastora y hundimiento de un cratón erosionado de edad pre-Imataca y composición granodiorítica.

	Fusión parcial produciéndose acumulación de fundido granítico.
2000 – 1900 m.a	Fallamiento del Bloque Imataca – Pastora. Emplazamiento de granitos ricos en potasio a través de zonas de debilidad, precedidos por flujos ignimbríticos y vulcanismo rio lítico y riocácítico.
1900 – 1700 m.a	Levantamiento, fallamiento normal y emplazamiento boyante de granitos ricos en potasio, de tipo Granito de La Paragua.

### **Discordancia Regional**

1700 – 1600 m.a	Provincia de Roraima o Canaima. Bloque atectónico de sedimentos deltaico-continentales. Sedimentación del Grupo Roraima en cuencas separadas, seguida de escaso levantamiento y fallamiento con intrusiones de composición basáltica.
1600 – 1500 m.a	Flujo riolítico interestratificado. Metamorfismo leve o ausente.
1750 – 1400 m.a	Rifting abortado con emplazamiento de granitos ricos en potasio desde pequeños plutones (Provincia de Pastora) a grandes batolitos (Granito rapakivi del Parguaza en la Provincia de Cuchivero), carbonatitas (Cerro Impacto), complejo anulares alcalinos (La Churuata) y diabasas intrusivas en el Grupo Roraima.

### **Discordancias Locales**

1450 – 1300 m.a	Sedimentación deltaico-continental. Se originan formaciones atectónicas de areniscas que no han sido estudiadas en detalle y han sido confundidas y correlacionadas con “Roraima”.
-----------------	--

### **Discordancia Regional Mayor**

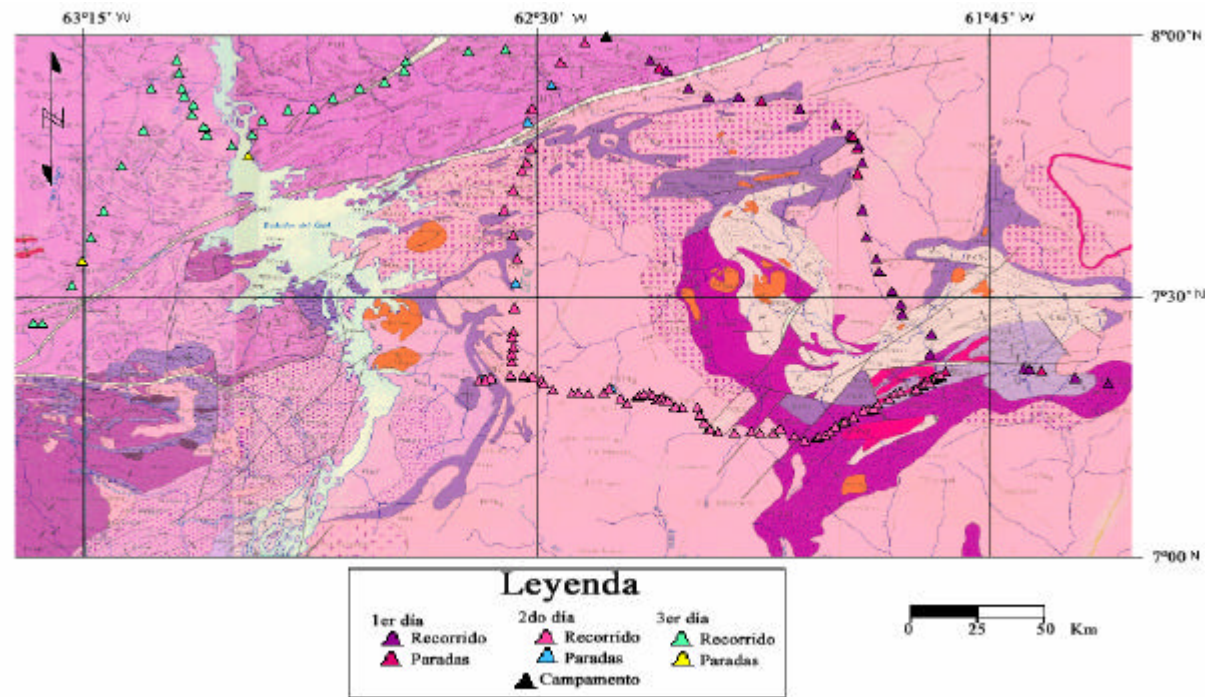
800 - 700 m.a Reciente      Levantamiento, erosión, intrusión de mantos, diques y sills de Kimberlitas, en la región del río Guaniamo (Bolívar)

Intrusiones de basaltos paleozoicos. Las partes erosionadas, peniplanadas y deprimidas son cubiertas por sedimentos cuaternarios y recientes de carácter aluvial y coluvial.

La historia geológica del Escudo de Guayana revela cuatro de los cinco ciclos tecto-termales de significación mundial: la Orogénesis Guriense (3600 – 2700 m.a) durante la cual se desarrolló un cinturón tectónico granulítico sin formación de “rocas verdes” (Provincia Imataca o Bolívar); la Orogénesis pre-Transamazónica o Guayanense (2600 – 2100 m.a), cuando se desarrolla un cinturón móvil ofiolítico-turbidítico; la Orogénesis Transamazónica (2000 – 1700 m.a), que representa un magmatismo de tipo ácido con escaso tectonismo asociado y la Orogénesis Orinoquense (2100 – 800 m.a) que representa un evento de reajustes isostáticos. El quinto evento de significación mundial, determinado en otros lugares como Brasiliano o Panafricano (800 – 600 m.a) se ha observado en el Escudo de Guayana y son representados por las kimberlitas de Guaniamo.

## 2.5 RECONOCIMIENTO GEOLÓGICO DE LA ZONA

El reconocimiento geológico se efectuó sobre una porción del área de estudio (Fig. N° 2.11), y su objetivo principal era observar algunas características litológicas y estructurales de las provincias de Imataca y Pastora. En las secciones del recorrido se pudo reconocer los contrastes litológicos y las relaciones estratigráficas entre ambas provincias, así como también las zonas de yacimientos de mineral de hierro agrupados en Ciudad Piar.



2.11 Mapa de recorrido con base al Mapa Geológico, tomado del Ministerio de Minas e Hidrocarburos (1976)

**Hora /Km**      **Coordenadas**      **Recorrido 23/10/2003**      **Vía Guasipati – El Callao - Tumeremo**

7:15 am      8° 00' 27.4''N  
62°23' 11.7''W

**Salida**

**Upata**

8:20 am      7° 56' 21.5''N  
62°17'54.3''W

**Parada 1**

La primera muestra es de granulita o granulita mafica perteneciente a Imataca de edad 3000 m.a., contiene piroxenos y plagioclasa que le dan apariencia micácea, De igual forma se observan metalavas máficas. La dirección de las estructuras es E-W y el buzamiento 51N, dirección de foliación es N-S, buzamiento 85°, rumbo de la foliación N70W, rumbo de la carretera N70W.



**Afloramiento 1**

<b>Hora /Km</b>	<b>Coordenadas</b>	<b>Recorrido 23/10/2003</b>
Cantera	7° 52.47'N	<p><b>Parada 2</b></p> <p>Afloramiento de regolitos con machas blancas limitados por diaclasas por donde entra agua. Metalava o metatoba andesítica (probablemente); roca volcánica.</p> <p>Se observan rocas del Grupo Carichapo, metareniscas y metachert, intercalado con anfibolitas.</p> <p>Los afloramientos se usan para agregados de asfalto y para la construcción.</p>
PEDECA	62° 7.671'W	



**Afloramiento 2**

1142.9Km	7° 48,391'N 61°58.641'W	<p><b>Parada 3</b></p> <p>El grado de meteorización es alto. Se observan rocas del Complejo Supamo, específicamente trondhjemitita con alto grado de meteorización.</p>
----------	----------------------------	---



**Afloramiento 3**



**Hora /Km**

1145.6 Km

**Coordenadas**

7° 47.221'N

62°58.280'W

**Recorrido 23/10/2003**

**Parada 4**

A lo largo del recorrido se observan cuerpos dómicos de trondhjemita color crema, con presencia de micas. La muestra presenta bajo grado de metamorfismo, posee bandamientos de plagioclasa y cuarzo, menos de 10% de índice de color.



**Afloramiento 4**

7° 44,156'N

61°58,201'W

**Parada 5**

Complejo Supamo  
Gneis tonalíticos con múltiples intrusiones de cuarzo  
Presencia de pliegues recurrentes  
Rumbo: N20E  
Buzamiento: 22N  
Buzamiento levemente al norte



**Afloramiento 5**

**Hora /Km**      **Coordenadas**  
Pocos metros    7° 21,264'N  
antes de la        61°49,482'W  
entrada de El  
Callao

**Recorrido 23/10/2003**

**Parada 6**

Formación Yuruari

Se observan intercalaciones de tobas con metapelitas; con presencia de cristales rectangulares (muy pequeños). El afloramiento está bastante meteorizado y se observan rocas metareniscas y metachert



**Afloramiento 6**

1230Km            7° 21,330'N  
                          61° 39,937'W

**Parada 7**

Complejo Supamo.

Los afloramientos de Supamo son pequeñas crestas que están muy meteorizadas



**Afloramiento 7**

**Hora /Km**      **Coordenada**  
14 Km (de 7° 34' 7''N  
Ferrominera a 63°15'16''W  
Puerto Ordaz)

Entrada de  
Ferrominera

### **Recorrido 24/10/2003**

#### **Parada 8**

Domos, bolones o cantos de meteorización esferoidales. Charnoquitas o granulitas maficas, meteorizan igual que un granito aun cuando es metasedimentaria. En la roca se observan distintas estructuras.

#### **Parada 8-a**

Muestras de anfibolita, muy máficas, granitos, todas las rocas son procedentes de el Cerro Bolivar.

### **Vía Ciudad Piar (Ferrominera) – Guri**



**Afloramiento 8**




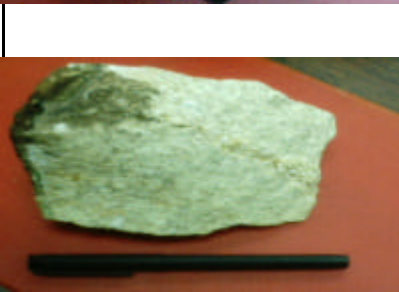












<b>Hora / Km</b>	<b>Coordenadas</b>	<b>Recorrido 25/10/2003</b>
60 Km	7°31'31''N 62°32'8''W	<b>Parada 10-a</b> Gran veta de cuarzo con más de 1 metro de espesor
Cambio de rumbo 5 Km	de 7°20'17''N 62° 35' 22''W	<b>Parada 11</b> Formación Carichapo: esquistos cloríticos verdes pelíticos y metavolcánicas. Esta muestra se encuentra dentro del Cinturón de Rocas verdes
9,2 Km	7° 50' 07''N 62°30'55''W	<b>Parada 12</b> Muestras del Complejo Supamo, principalmente metaigneas
18,3 Km	7°19'23''N 62°22'40''W	<b>Parada 13</b> Gneiss tonalítico migmatita, moco de hierro. Pizolita de Goetita




## 2.6 DESCRIPCIÓN DE LAS UNIDADES QUE AFLORAN EN LA REGIÓN DE GUAYANA




	Nombre de la roca	Comp. Mineral	Facies Metamórfica	Provincia	Densidad g/ml	Susceptibilidad
	Roca Volcánica Metalava Andesítica	Actinolita, plagioclasa, esqueletos de piroxeno alterado a esfena.	Facies de los esquistos verdes  Bajo Grado	Pastora  Formación El Callao	3.09	4,4836E-05
	Roca Granítica Charnockita Félsica	Feldespatos, biotita (producto de la alteración del ortopiroxeno), plagioclasa, microclino, bastante cuarzo. Presencia de hipersteno.	Alto grado	Imataca	2.74	0,00040869
	Meta - Trondjhemita	Cuarzo, microclino, plagioclasa, biotita y algo de hornblenda.	Facies de los esquistos verdes a la facies de la anfibolita Grado alto a medio	Pastora  Complejo Supamo	2.65	0,00010692
<p style="text-align: center;">4</p>						

Muestra	Nombre de la roca	Comp. Mineral	Facies Metamórfica	Provincia	Densidad g/ml	Susceptibilidad
 <p>5</p>	Anfibolita (foliación casi perfecta)	Hornblenda, feldespato, cuarzo, epidoto (poco), presencia de minerales opacos; óxido de hierro.	Facies Anfibolita Grado medio	Imataca	3.03	5,6907E-05
 <p>6</p>	Granulita Máfica	Hornblenda, plagioclasa, apatíto (accesorio) y magnetita (mineral opaco).	Alto grado	Imataca	2.55	0,00038973
 <p>7</p>	Gneis Plagioclásico	Plagioclasa, presencia de anfíbol hornblenda, epidoto, esfenas grandes y plagioclasa.	Facies Anfibolita Grado medio	Pastora Complejo Supamo	2.75	3,4489E-05

Muestra	Nombre de la roca	Comp. Mineral	Facies Metamórfica	Provincia	Densidad g/ml	Susceptibilidad
 <p>8</p>	Cuarcita Magnetítica	Anfiboles, piroxenos, mucho cuarzo, magnetita.	Alto grado	Imataca	3.43	0,00250563
 <p>10</p>	Anfibolita	Cuarzo, plagioclasa, hornblenda, apatito, apatito. La sección tiene una veta de cuarzo intercalada.	Grado medio	Pastora Caballape	2.90	0,00023108
 <p>12</p>	Granodiorita	Feldespato potasico, cuarzo, plagioclasa, biotita, clorita. Presencia de esfena.	Facies Verdes Bajo grado	Pastora Complejo Supamo	2.80	0,00011209



Muestra	Nombre de la roca	Comp. Mineral	Facies Metamórfica	Provincia	Densidad g/ml	Susceptibilidad
 <p>15</p>	Anfibolita	Actinolita, cuarzo, plagioclasa y epidoto. La muestra es de grano grueso.	Facies de los Esquistos verdes Bajo grado	Pastora Grupo Carichapo	3.01	3,6213E-05
 <p>16</p>	Metatoba	Cuarzo, feldespato, biotita ( un poco alterada) y epidoto en poca cantidad. La muestra está bastante foliada	Bajo grado	Pastora Formación El Callao	2.70	2,4142E-05
 <p>17</p>	Anfibolita epidótica	Anfibol verde azul plagioclasa, poco cuarzo y epidoto.	Facies anfibolita epidotica Grado medio a bajo	Pastora. Grupo Carichapo	2.90	3,104E-05

Muestra	Nombre de la roca	Comp. Mineral	Facies Metamórfica	Provincia	Densidad g/ml	Susceptibilidad
 <p>18</p>	Metatronhjemit a muy foliada	Cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa, biotita y apatito como accesorio. Muestra con cristales muy grandes.	Bajo grado	Pastora Complejo Supamo	2.7-2.65	0,00103295
 <p>20</p>	Filita Serisitico-cuarzosa	Presencia de muchas micas (muscovita), cuarzo, feldespato, serisita, y turmalina (origen Oceánico)	Bajo grado	Pastora El Manteco	3.32	2,0693E-05
 <p>21</p>	Anfibolita	Actinolita, epidoto, presencia de minerales opacos, posiblemente esfena	Facie de los esquistos verdes Bajo grado	Pastora (Esta muestra pertenece al Cinturón de Rocas Verdes)	2.90	6,3805E-05

## CAPÍTULO III

### 3.1 FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE MÉTODO MAGNÉTICO

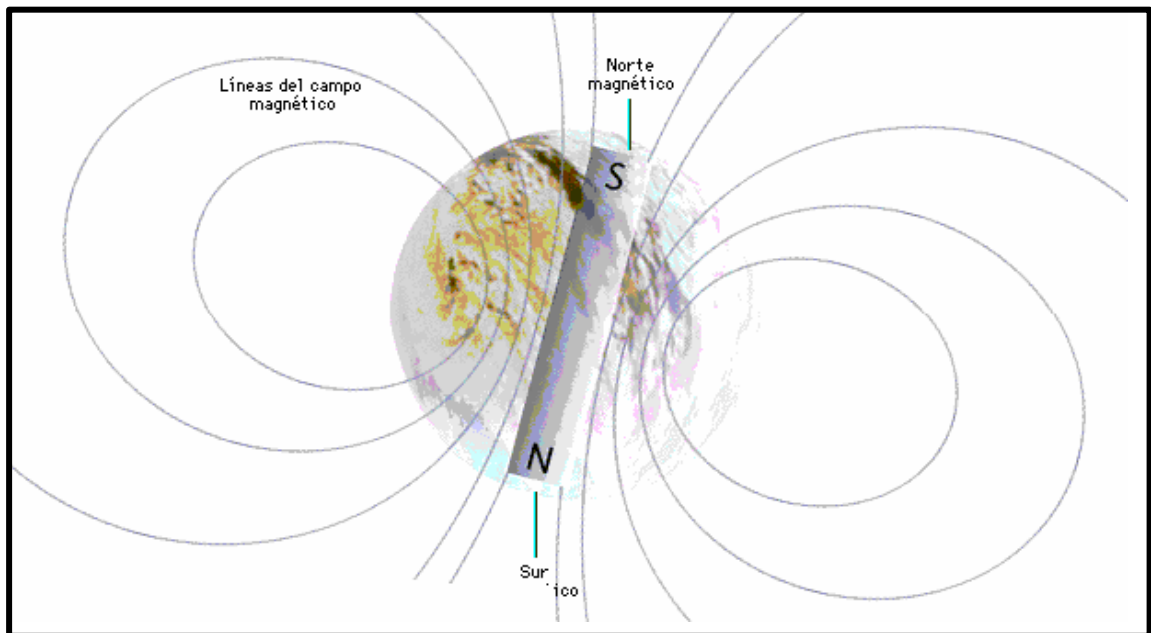
Los métodos que resuelven ciertos problemas geológicos apoyándose en el estudio de campos físicos naturales o artificiales, se denominan dentro del conjunto de las ciencias geológicas “métodos indirectos de exploración”; dentro de éstos se encuentra la exploración magnética, la cual comprende no sólo la medición de la intensidad del campo magnético anómalo, sino la explicación geológica del mismo.( Logachev y Zarajov, 1978).

La prospección magnética es el método más antiguo en la exploración geofísica y se emplea en la búsqueda de petróleo y minerales. En la prospección petrolífera es empleado para determinar el espesor del tramo sedimentario o para cartografiar rasgos estructurales sobre la superficie del basamento que podrían influenciar la estructura de los sedimentos suprayacentes. Las rocas sedimentarias ejercen un efecto magnético tan pequeño en comparación con las rocas ígneas situadas debajo, que virtualmente todas las variaciones de la intensidad magnética medibles en la superficie están asociadas a la topografía o a los cambios litológicos del basamento.

El magnetismo en rocas se mide por medio de los magnetómetros, y para el estudio de la corteza se hacen determinaciones relativas de manera semejante al método gravimétrico. En cuanto a los magnetómetros, existe una gran variedad de instrumentos basados en diferentes principios: la deflexión de una brújula, el desbalance de un par de bobinas, la precisión libre de protones, el bombeo óptico de electrones, etc. Magnetómetros de estos tipos son los más utilizados actualmente en el trabajo de campo, aunque existen otros de gran sensibilidad para el trabajo de laboratorio.

Para poder estudiar las anomalías magnéticas causadas por masas situadas a unos centenares de metros de profundidad, o incluso menos, es necesario tener conocimiento acerca del comportamiento del campo magnético terrestre. La Tierra se comporta magnéticamente al igual que un gigantesco imán irregular. Este imán imaginario se alinea determinando lo que se conoce como eje magnético terrestre, el cual intercepta a la superficie del globo terrestre en dos puntos denominados polos magnéticos.

En el campo magnético terrestre se pueden considerar dirección, sentido e intensidad. La dirección y sentido del campo magnético terrestre se determinan por la dirección y el sentido de la aguja magnética, dados por su declinación e inclinación en cualquier punto de la Tierra. El polo norte magnético de la Tierra no coincide con el polo norte geográfico, y por lo mismo el polo norte de una aguja magnética no se dirige al verdadero norte.



**Fig.Nº 3.1 Campo magnético de la Tierra.**

Por su parte, la intensidad del campo magnético terrestre en un lugar cualquiera de la Tierra es la fuerza con que actúa dicho campo sobre la unidad de masa colocada en dicho lugar.

### 3.1 ELEMENTOS DEL CAMPO MAGNÉTICO

El campo magnético total, denotado con la letra  $F$ , se expresa descompuesto en varias componentes: una componente horizontal  $H$ , que coincide con la dirección del Norte Magnético (dividida a su vez en sus proyecciones  $X$  y  $Y$ , donde  $Y$  coincide con la dirección del Norte Geográfico) y en una componente vertical  $Z$ . Al ángulo que forma la resultante total  $F$  con su componente horizontal  $H$  se le denomina inclinación magnética y se designa con la letra  $I$ ; y al ángulo formado entre el Norte Geográfico y el Norte Magnético se le llama declinación magnética y se designa con la letra  $D$ . Las medidas de  $I$  y de  $D$  varían de un sitio a otro.

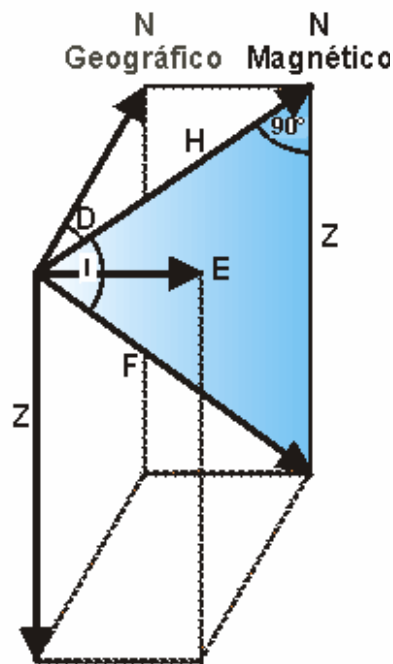


Fig. N° 3.2 Descomposición vectorial del campo geomagnético en el sistema de referencia geográfico

Las magnitudes X, Y, Z, D, I, H y F son los llamados elementos magnéticos y están relacionados entre sí por las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned}H &= F \cos(I) & Z &= F \sin(I) = H \operatorname{tg}(I) \\X &= H \cos(D) & Y &= H \sin(D) \\X^2 + Y^2 &= H^2 & X^2 + Y^2 + Z^2 &= H^2 + Z^2 = F^2\end{aligned}$$

El plano vertical que pasa por F y H es el meridiano magnético local

La unidad tipo en la que se expresa la intensidad del campo magnético terrestre es el Oersted o el Gauss, su equivalente numérico en el sistema c.g.s. Pero esta unidad es demasiado grande para poder ser utilizada en prospección, ya que las variaciones que generalmente se miden son mucho menores; es por eso que en Geofísica la unidad utilizada es el gamma (?) o nanotesla, que equivale a  $10^{-5}$  Gauss.

### **3.2 CAMPO MAGNÉTICO TERRESTRE**

El origen del campo magnético se debe a la existencia en la Tierra de un núcleo metálico en el que se producen corrientes de material, debido a las diferencias de temperaturas existentes entre la superficie y la parte más profunda, y que éstas generan corrientes eléctricas que producen el campo magnético de la Tierra.

Las propiedades físicas de las rocas y de los minerales aparecen como un reflejo de la composición, estructura, condiciones de formación e historia geológica de los diferentes tipos de rocas y minerales.

Es necesario destacar la importancia de los parámetros físicos en zonas que posteriormente serán estudiadas por métodos geofísicos puesto que a través de ellos se puede seleccionar el método óptimo y racional para complementar el objetivo planteado.

### 3.3 MATERIALES MAGNÉTICOS

Se llaman magnéticos a aquellos materiales capaces de adquirir, en un campo magnético externo, propiedades magnéticas, bien sea imanarse o crear un campo magnético propio.

Por sus propiedades magnéticas los cuerpos magnéticos se dividen en grupos:

- **Diamagnéticos:** Se llaman diamagnéticas aquellas sustancias en las cuales los momentos magnéticos de los átomos (o moléculas), en ausencia de un campo magnético externo, son iguales a cero. Cabe destacar que el momento magnético es el producto  $P \cdot L$ , donde  $P$  es la intensidad de polo y  $L$  la longitud que separa a ambos polos.
- **Paramagnéticos:** Son aquellas sustancias en las cuales los átomos (o moléculas), en ausencia de un campo magnético externo, poseen cierto momento magnético permanente.
- **Ferromagnéticos:** Aquellos cuerpos en los cuales el campo magnético intrínseco es centenares y millares de veces mayor que el campo externo que lo provoca. Esta propiedad se observa en la magnetita y los cristales de los metales de transición como el hierro, el níquel y el cobalto.

### 3.4 SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA

La susceptibilidad magnética es la capacidad de un cuerpo de adquirir imantación al estar sometido a un campo magnético. Ésta es una propiedad física que sustenta el método magnético y depende esencialmente de la cantidad de materiales ferromagnéticos. La susceptibilidad de una roca que contiene minerales magnéticos es dada por la susceptibilidad magnética del mineral multiplicada por el porcentaje por volumen de material magnético en la roca.

Tabla de valores de la susceptibilidad magnética kappa para algunos minerales y rocas de DOBRIN (1988):

Sustancia	kappa x 10 <sup>6</sup> en unidades cgs
Magnetita	300000 – 800000
Pirotina	125000
Ilmenita	135000
Franklinita	36000
Dolomita	14
Arenisca	16,8
Serpentina	14000
Granito	28 – 2700
Diorita	46,8
Gabro	68,1 – 2370
Pórfido	47
Diabasa	78 – 1050
Basalto	680
Diabasa de olivino	2000
Peridotita	12500

**Tabla N° 3.1. Susceptibilidades de algunas rocas y minerales (Dobrin, 1988)**



### 3.5 VARIACIONES TEMPORALES DEL CAMPO MAGNÉTICO TERRESTRE

La intensidad magnética terrestre cambia su dirección de una forma lenta e irregular. Se pueden comprobar dichas variaciones al medir la intensidad en laboratorios magnéticos, donde se observan cambios de pequeño periodo en la magnitud del campo. Estos cambios son debidos a varias causas, y pueden clasificarse en seculares, diurnos solares, diurnos lunares y tormentas magnéticas.

- **Variación Secular:** Son los cambios que van progresando lentamente durante décadas o siglos. Se observan por pequeñas desviaciones en la declinación, inclinación y en los distintos componentes de la intensidad. Estas variaciones seculares se pueden observar en mapas isopóricos. Un cambio secular más claro es el de la revolución terrestre aparente de los polos magnéticos en torno al eje de rotación. Este cambio se pone de manifiesto por cambios periódicos y simultáneos de la declinación en puntos en los que se vienen realizando registros magnéticos precisos desde hace siglos. Todas estas variaciones seculares parecen estar relacionadas con el campo interno terrestre. Además, hay un ciclo de variación cada once años, tanto en la intensidad vertical como en la horizontal, que parece estar en relación con los periodos de mayor frecuencia de manchas solares; tienen una variación según la latitud debido a fuentes de origen externo.
- **Variación Diurna:** De más importancia en prospección geofísica son las oscilaciones, menores pero más rápidas, que tienen una periodicidad de aproximadamente 24 horas y una amplitud de 25 gammas por término medio. Estas variaciones diurnas son registradas con frecuencia en las gráficas de los observatorios magnéticos alrededor del planeta. Los registros, en general, muestran dos tipos de variaciones: en los "días tranquilos" la variación es suave, regular y de poca amplitud; puede ser descompuesta en componentes

que pueden ser predichas y que tienen periodicidades solares y lunares. En los "días inquietos", la variación es menos regular y está asociada a tormentas magnéticas.

- **Variación Solar Diurna:** El análisis de registros de variación en los días magnéticamente tranquilos pone de manifiesto una periodicidad definida de 24 horas, que depende con bastante aproximación solamente del tiempo local y de la latitud geográfica. Por esta correlación de la variación con el periodo de rotación terrestre, aquella es atribuida al sol y por eso se denomina variación diurna solar. Por término medio, esta variación de intensidad es del orden de 30 gammas, aunque su amplitud crece durante el verano en cada hemisferio. Es muy probable que la variación solar diurna sea debida al efecto del sol sobre las corrientes eléctricas de la atmósfera terrestre externa; las variaciones en estas corrientes ocasionan a su vez variaciones en el campo magnético que ellas inducen en la superficie terrestre.
- **Variación Lunar Diurna:** Hay otra componente en la variación periódica de los elementos magnéticos terrestres que tiene una periodicidad de unas 25 horas y una amplitud quince veces menor que la de la variación solar diurna. Puesto que ésta es la duración del día lunar, estas variaciones se supone que están en relación con la rotación terrestre con respecto a la luna; por eso se denominan variaciones lunares diurnas. Esta variación se diferencia de la solar porque mientras ésta es aproximadamente constante a lo largo del tiempo, la variación lunar varía cíclicamente a lo largo del mes.
- **Tormentas Magnéticas:** Además de las variaciones poco amplias y predecidas en el campo terrestre, hay bruscos disturbios que, por analogías meteorológica, se llaman tormentas magnéticas.

Las tormentas magnéticas originan cambios característicos en los elementos magnéticos que dependen principalmente de la latitud. Actualmente no existe una teoría completa para explicar las tormentas magnéticas. Sin dudas existe alguna relación con la actividad solar, como se pone de manifiesto por su aparición junto con las manchas solares y en periodos de 27 días, b mismo que la rotación solar, y por el hecho de que las erupciones cromosféricas se han observado en el mismo instante en el que los observatorios magnéticos de todo el mundo han detectado aumentos bruscos de actividad magnética.

Las tormentas magnéticas tienen importancia práctica considerable, pues su efecto en las transmisiones de radio es muy grande; también en las operaciones de prospección magnética hay que suspender las medidas, pues no hay manera de corregir los datos magnéticos por los efectos no previsibles de las tormentas.

### **3.6 AEROMAGNETOMETRÍA**

Un aspecto que le da gran versatilidad a la investigación magnetométrica es que puede hacerse desde aviones a los que le han adaptado magnetómetros aéreos que usualmente son arrastrados por cables a cierta distancia del avión para evitar el campo magnético propio de la aeronave.

La manipulación del magnetómetro en vuelo es relativamente sencilla ya que éste es totalmente electrónico; este instrumento registra con una pluma sobre una tira móvil de papel y también numéricamente sobre una cinta registradora. Un operador, desde el avión, regula la sensibilidad, porque el instrumento lleva un mecanismo automático para impedir que la pluma registradora se salga de la escala; también debe regularse el equilibrio. La altura de vuelo debe ser suficientemente elevada como para evitar las influencias de líneas eléctricas, fábricas y otros motivos de efectos magnéticos de superficie.

Este método tiene tres aplicaciones principales:

1.- Descubrimiento de minerales magnéticos, como la magnetita, la pirrotina y la cromita entre otros.

2.- Búsqueda de zonas de posibles yacimientos petrolíferos, antes de la aplicación de procedimientos más costosos.

Esto es debido a que el método aeromagnético permite calcular la profundidad del basamento respecto a la altura de vuelo (la cual es conocida) y por lo tanto determina la magnitud de los espesores sedimentarios, que es un dato de mayor interés para las posibilidades petrolíferas de una zona. Por lo tanto, el método se ha convertido actualmente en el primero que se debe aplicar al iniciar una investigación de hidrocarburos, cuando se trata de zonas vírgenes o poco conocidas geológicamente.

3.- Levantamiento de mapas geológicos de alguna región. En circunstancias favorables, se puede interpretar mejor la geología con la ayuda de un buen mapa aeromagnético.

- **Ventajas de la aeromagnetometría**

1. Es un método de bastante velocidad, debido a que se pueden cubrir áreas extensas como zonas pantanosas, selvas vírgenes y desiertos o zonas incomunicadas en corto tiempo

2. Debido a esta ventaja de la velocidad, el costo de una prospección aérea es menor que el de una terrestre equivalente, si el área que va a ser explorada es lo suficientemente extensa como para justificar los elevados gastos fijos.

3. El magnetómetro aéreo puede ser empleado sobre el agua o terrenos inaccesibles a las operaciones en tierra, lo que representa una gran ventaja en lugares remotos donde las facilidades de transporte son muy escasas.
4. Los efectos de la deriva de los instrumentos y de la variación diurna quedan, en general reducidos al mínimo, debido a la velocidad con que se realiza la exploración.
5. Debido a la altura que vuela el avión, los materiales magnéticos que se encuentran sobre la superficie del suelo, tales como tuberías, carriles, edificios, etc., no afectan al registro, mientras que estas fuentes extrañas de magnetismo interfieren continuamente con el grado de utilización de los datos magnéticos obtenidos en tierra.
6. Análogamente los efectos debidos a rocas, arenas y diques magnéticos extraños que se encuentren en la superficie del suelo o a poca profundidad, no interfieren en el reconocimiento de las anomalías debidas a cuerpos subterráneos profundos, pudiendo ser variada la altura de vuelo para lograr una discriminación máxima.

- **Desventajas de la aeromagnetometría**

1. La precisión de los resultados de los trabajos aéreos está siempre limitada por la exactitud del mapa en que se transcriben los datos magnéticos. Los mapas de que se dispone en algunas zonas son demasiado incompletos o inexactos para poder situar debidamente las características magnéticas. Cuando en esta zona se llevan a cabo exploraciones en tierra, todo el levantamiento topográfico que sea necesario puede hacerse al mismo tiempo que las lecturas magnéticas. Cuando la altitud de vuelo es de 300 metros, se cometen por lo

general errores de 15 metros en la localización, aún contando con buenos mapas.

2. El costo mínimo de una exploración aeromagnética es elevado debido a la inversión básica en los aviones utilizados. Una de las ventajas del magnetómetro es la ligereza del equipo, que puede ser transportado en un pequeño avión monomotor. Si la superficie a explorar es pequeña, este tipo de exploración se hace prohibitiva debido al costo por kilómetro.

### **3.7 REALIZACIÓN E INTERPRETACIÓN DE MAPAS MAGNÉTICOS**

Esta interpretación consiste en la deducción de la geometría de los cuerpos magnéticos causantes de un determinado conjunto de anomalías. En algunos casos se puede encontrar, en principio, una infinidad de distribuciones subterráneas de imanación que pueden explicar las mismas series de observaciones en la superficie, incluso si el campo magnético en cada de la superficie del terreno fuese conocido con precisión perfecta. Sigue de aquí que las anomalías magnéticas por si solas son insuficientes para determinar sin ambigüedad los cuerpos o estructura que las causan.

Al realizar los análisis cualitativos de las intensidades totales del Campo Magnético, se deben tener en cuenta los siguientes criterios:

1. Lo primordial es conocer que la respuesta magnética viene dada por la magnetización de la roca al momento de su solidificación, en tal sentido las rocas que ofrecen una mayor contribución a la Intensidad Magnética Total son las rocas ígneas y las metamórficas.
2. Observar las secuencias de parejas de cierres que indiquen dirección de la estructura. Este par de cierres representa la inclinación del campo magnético,

y se puede determinar verificando el valor menor entre los dos cierres, y hacia ese sentido se encontrará la inclinación del campo.

3. Cuando se observa un gradiente pequeño (curvas isogammas con bastante separación entre si), se infiere la presencia de un basamento profundo. Si por el contrario, los gradientes observados son muy grandes, nos encontramos en presencia de un basamento magnético muy somero.
4. En un perfil se puede observar la profundización del basamento e interpretar junto con el perfil magnético si se está hablando del basamento cristalino o basamento magnético, ya que el segundo está inferido por todo aquel tipo de roca que contribuya con la Intensidad del Campo Magnético Total.
5. Para obtener una interpretación confiable de la respuesta magnética, se deben considerar los datos geológicos, así como estudios previos de prospección (Ej. sísmicos), que ayuden a una mejor complementación de la información para así obtener un modelaje estructural del subsuelo más real, ya que una misma respuesta magnetométrica puede generar diversos modelos a proponer.

## CAPÍTULO IV

### 4.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO, GEOESTADÍSTICO Y ESPECTRAL DE LOS DATOS

La estadística es una ciencia que se encarga de recopilar, organizar, presentar, analizar e interpretar un conjunto de datos naturales, para tomar una decisión de incertidumbre en un momento determinado.

La Estadística y la Geoestadística están relacionadas con el estudio de procesos cuyos resultados son más o menos impredecibles y tienen la finalidad de obtener conclusiones para tomar decisiones razonables de acuerdo con tales observaciones. Las predicciones obtenidas difícilmente hacen referencia a sucesos concretos, pero describen con considerable precisión el comportamiento global de grandes conjuntos de sucesos particulares.

#### 4.1 FUENTE DE LOS DATOS

Los mapas aeromagnéticos fueron suministrados por el Instituto Nacional de Geología y Minería de Venezuela (INGEOMIN), adscrito al Ministerio de Energía y Minas que ofrece sus servicios profesionales en el campo de las Ciencias de la Tierra. Estos datos fueron adquiridos en campañas exploratorias durante los años 1959 y 1961 por la empresa *Hunting Survey Geology and Geophysics l.t.d.* para la búsqueda de nuevos yacimientos minerales.

Los planos suministrados constan de seis mapas del levantamiento Aeromagnético en la Zona Norte de la Guayana Venezolana en una escala de 1:50.000, fueron adquiridos a una altura de 152 metros, cartografiados con intervalos entre contornos de 20 gammas y con separación de líneas de vuelo de 500 metros (Fig. N° 1.3).



## 4.2 DIGITALIZACIÓN DE LOS DATOS AEROMAGNÉTICOS

Para la representación de los mapas aeromagnéticos en una base de datos de 122.653 muestras se utilizó el programa AUTOCAD2002, a través de la extracción de los datos en formato digital. Para ello se creó un patrón de muestreo acorde con la variación del gradiente en zonas donde se observaron dificultades o que resultaron de interés. Cada muestra es una variable regionalizada que representa coordenadas relativas (x,y) y la intensidad del campo magnético total es la dimensión z. Las coordenadas relativas x,y fueron transformadas a coordenadas geográficas de longitud y latitud respectivamente usando la fórmula :

$$x = \frac{\{k * (X - A)\}}{(a - A)} + k'$$

$$y = \frac{\{j * (Y - B)\}}{(b - B)} + j'$$

donde X y Y son las coordenadas relativas.

k y j son constantes.

k' y j' puntos de coordenadas geográficas conocidos.

Y los valores de a, A, b, B son los valores referidos extraídos de AUTOCAD.

## 4.3 VALIDACIÓN ESTADÍSTICA DE LOS DATOS

El análisis estadístico de los datos fue realizado por el programa SPSS (2004), cuyas siglas en inglés corresponde a Statistical Package for Social Science, es decir, paquete estadístico para ciencias sociales. El SPSS es un software que se utiliza mayormente para cálculos estadísticos, aunque incluye un sin número de utilidades que permite la manipulación de grandes volúmenes de datos de toda índole.

- **4.3.1 Método de Selección de los Datos**

Se tomó una muestra aleatoria de los datos obtenidos de la digitalización de los mapas de anomalía magnética, mediante la selección aleatoria de mil elementos que conforman toda la población de datos.

- **4.3.2 Análisis Descriptivo**

El análisis descriptivo permite representar la masa de datos objeto de estudio a través de su agrupación y de la obtención de ciertos indicadores estadísticos. Estos indicadores estadísticos permitirán describir, a partir de una muestra, la población utilizando sus medidas de tendencia central, media, moda y varianza.

La estadística descriptiva organiza, sintetiza y describe un conjunto de datos. Su finalidad es obtener información necesaria para que pueda ser interpretada cómoda y rápidamente y, por tanto, pueda utilizarse eficazmente para el fin que se desee.

Las medidas de tendencia central son parámetros que permiten determinar el centro de distribución que poseen los datos de muestra. Las más importantes son la media, la mediana y la moda. Igualmente para las medidas de dispersión los parámetros estadísticos que indican cuánto se alejan del centro los valores de la distribución, son la desviación típica y la varianza.

- **4.3.3 Datos de Intensidad Magnética Total**

Para el análisis estadístico se utilizó una muestra de 121.230 datos que fueron ordenados por latitud, longitud y intensidad magnética total, donde esta última era la variable analizada.

**Tabla N° 4.1 Procesamiento estadístico de los casos de IMT**

**Resumen del procesamiento de los casos**

	Casos					
	Válidos		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
IMT	121230	100,0%	0	,0%	121230	100,0%

En el estudio se observó tal como muestra la Tabla N° 4.2, un valor mínimo de 4.500 gammas y máximo de 24.720 gammas, con un promedio igual a 14.610 gammas, una varianza de 691.463,499 gammas y una desviación típica de 831,542 gammas. El límite dentro del cual están comprendidos todos los valores de la serie de datos es de 20.220, en otras palabras, esa es la diferencia entre el valor máximo y el valor mínimo.

**Tabla N°4.2 Valores estadísticos de la Intensidad Magnética Total**

**Estadísticos descriptivos**

	IMT	N válido (según lista)
N	121230	121230
Rango	20220,00	
Mínimo	4500,00	
Máximo	24720,00	
Suma	8,4E+08	
Media	6902,2831	
Error típico	2,3882	
Desv. típ.	831,5428	
Varianza	691463,5	
Asimetría	5,755	
Error típico	,007	
Curtosis	59,434	
Error típico	,014	

Las medidas de tendencia central de la variable intensidad magnética total presentan dispersión; con valores de moda de 6560 gammas, mediana de 6740 gammas e igualmente la media de 6902,2331 gammas.

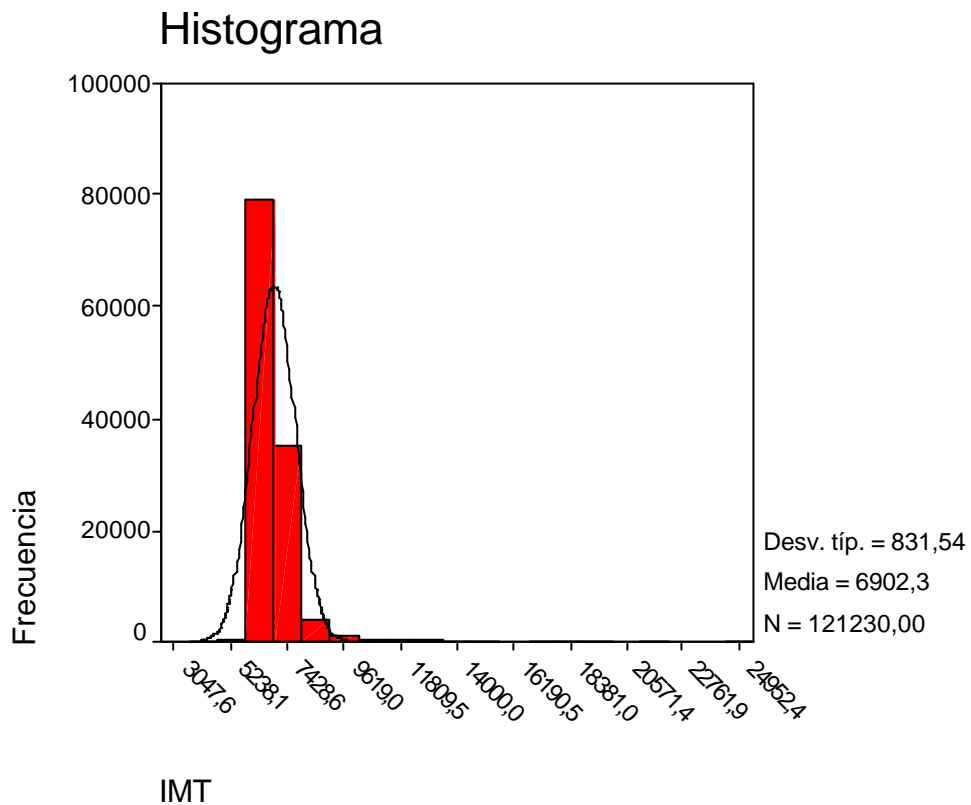
**Tabla N°4.3 Valores estadísticos descriptivos de Intensidad Magnética Total**

Descriptivos			Estadístico	Error típ.
IMT	Media		6902,2831	2,3882
	Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior	6897,6022	
		Límite superior	6906,9640	
	Media recortada al 5%		6796,6128	
	Mediana		6740,0000	
	Varianza		691463,499	
	Desv. típ.		831,5428	
	Mínimo		4500,00	
	Máximo		24720,00	
	Rango		20220,00	
	Amplitud intercuartil		460,0000	
	Asimetría		5,755	,007
	Curtosis		59,434	,014

De la Tabla N° 4.3 se puede observar que la desviación típica es de 831,5426, valor que mide la heterogeneidad de los datos, y es menor con respecto a los valores de la media, mediana y moda. Se observa un rango de 20.220 gammas. Es importante destacar la heterogeneidad que se observa en el comportamiento de los datos, la misma puede ser atribuida a la influencia de litologías que poseen alta variabilidad en la intensidad magnética, lo cual es causante de la anomalía y más aún a la distribución litológica que se observa en el área de estudio.

El histograma de frecuencia es un diagrama en forma de columna, que divide la muestra de datos en clases y los clasifica en función de la cantidad de elementos por cada clase (frecuencia), de esta forma la representación grafica permite visualizar la moda, media y la posible existencia de valores atípicos, además permite inferir si es estadísticamente aceptable y aplicable a un modelo de distribución normal a la muestra.

Se observa en la Fig. N° 4.1, la asimetría en la distribución de los datos, es decir, que gran parte de los datos se ubican alrededor de la media, mientras que otro número representativo de los mismos se sitúa en un rango respectivamente mayor. Dicho sesgamiento puede estar evidenciando la presencia de características litológicas diferentes en ese rango, es decir, que puede ser atribuidos a minerales con altos contenidos ferromagnesianos hacia la zona del sesgamiento.



**Fig. N° 4.1 Distribución de frecuencia de Intensidad Magnética Total del área de estudio**

**Tabla N° 4.4 Valores de percentiles para la Intensidad Magnética Total**

**Percentiles**

Percentiles	Weighted Average (Definitio n 1)	Bisagras de Tukey
	IMT	IMT
5	6260,0000	
10	6360,0000	
25	6520,0000	6520,0000
50	6740,0000	6740,0000
75	6980,0000	6980,0000
90	7500,0000	
95	8000,0000	

**Tabla N°4.5 Valores extremos**

**Valores extremos**

			Número del caso	Valor
IMT	Mayores	1	102618	24720,00
		2	102612	24720,00
		3	102619	24720,00
		4	102620	24720,00
		5	102613	, <sup>a</sup>
	Menores	1	88256	4500,00
		2	88258	4500,00
		3	88249	4500,00
		4	88255	4500,00
		5	88250	, <sup>b</sup>

- a. En la tabla de valores extremos mayores sólo se muestra una lista parcial de los casos con el valor 24720. gammas
- b. En la tabla de valores extremos menores sólo se muestra una lista parcial de los casos con el valor 4500. gammas

Los valores comprendidos entre el percentil 5 y el percentil 25 representan los valores más pequeños de la población (4500 gammas) y los valores entre el percentil 75 y el percentil 95 representan los valores más altos de la población (24720 gammas) como se observa en la Tabla N° 4.4.

**Tabla N° 4.6 Estimadores M para la población total de los datos de Intensidad Magnética Total**

**Estimadores-M**

	Estimador-M de Huber <sup>a</sup>	Biponderado de Tukey <sup>b</sup>	Estimador-M de Hampel <sup>c</sup>	Onda de Andrews <sup>d</sup>
IMT	6745,9139	6712,6204	6729,1849	6712,1206

- a. La constante de ponderación es 1,339.
- b. La constante de ponderación es 4,685.
- c. Las constantes de ponderación son 1,700, 3,400 y 8,500.
- d. La constante de ponderación es  $1,340 \cdot \pi$ .

La corrección de la significación de Lilliefors da una significancia igual a cero, lo que puede hacer suponer que la variabilidad entre los datos no es significativa y por ende se puede suponer que provienen de una distribución normal.

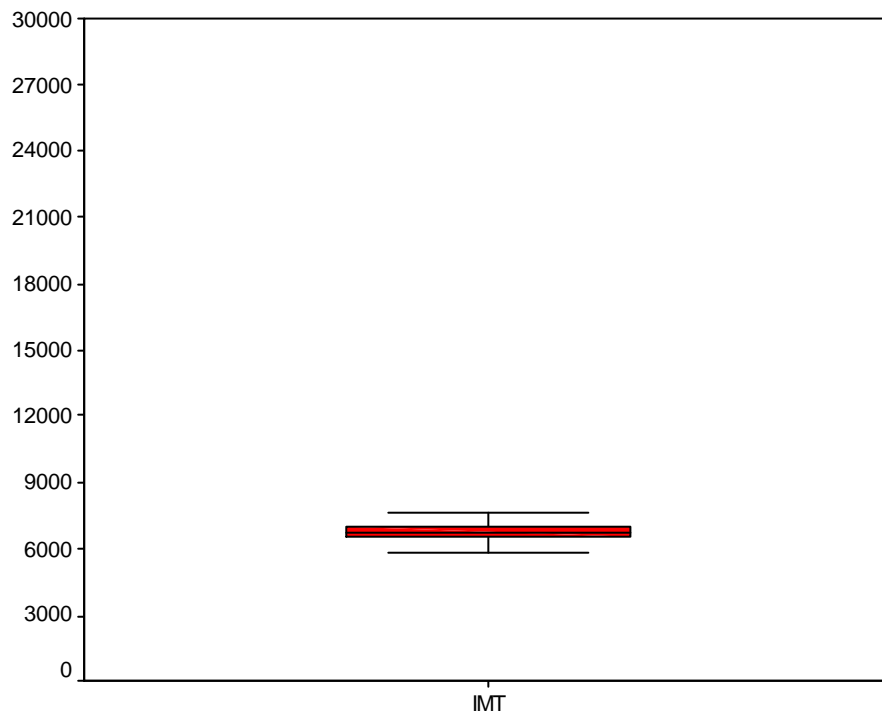
**Tabla N°4.7 Pruebas de normalidad**

**Pruebas de normalidad**

	Kolmogorov-Smirnov <sup>a</sup>		
	Estadístico	gl	Sig.
IMT	,233	121230	,000

- a. Corrección de la significación de Lilliefors

En el diagrama de caja (Fig. N° 4.2), se puede observar una representación gráfica de la información más relevante de la distribución de frecuencias de la variable Anomalía Magnética. La parte central, denominada caja, es el lugar donde se ubica el 50% de los datos centrales de dicha distribución y en ella se encuentra la mediana o percentil 50, representada por una línea horizontal, cuyo valor en este caso es de 6740 gammas; la parte inferior y superior se corresponden con los valores del percentil 25 y 75 respectivamente.



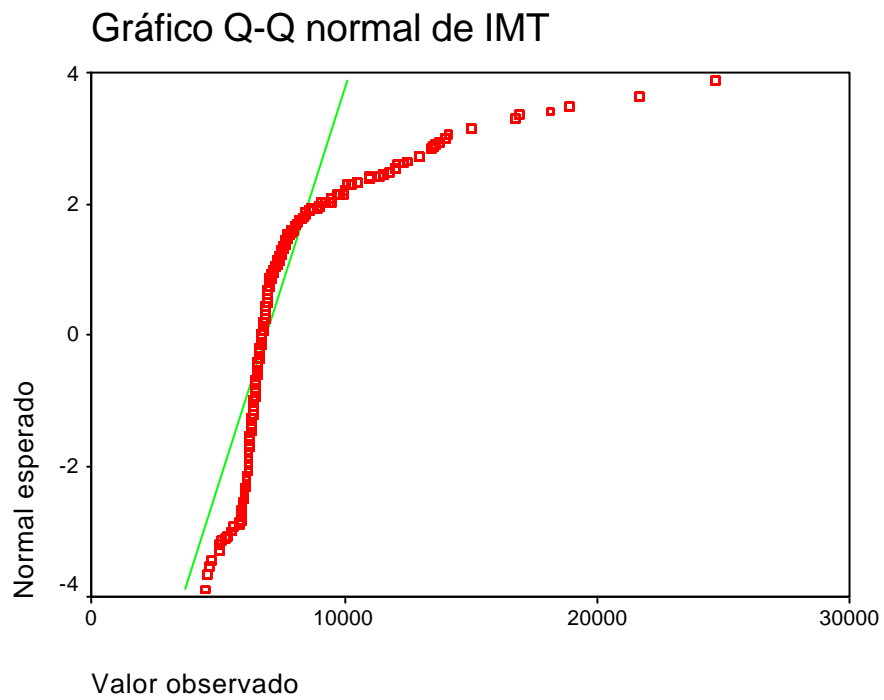
**Fig. N° 4.2 Diagrama de caja**

En el gráfico de probabilidad normal Q – Q están representados los valores de la variable anomalía magnética en el eje horizontal, frente a los esperados bajo la hipótesis de distribución normal en el eje vertical. Si la muestra procediera de una distribución normal los datos deberían corresponderse o ser aproximadamente iguales a los de la línea recta, la cual se centra en el intervalo (-2,2). Otra alternativa se muestra con el gráfico de probabilidad normal sin tendencia.

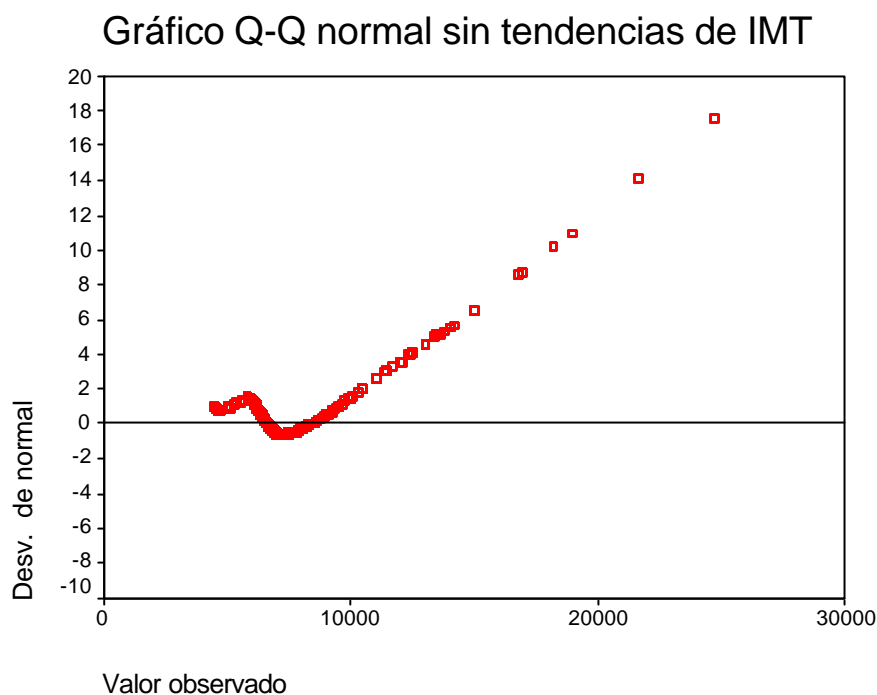


Al observar ambos gráficos se puede verificar que los datos no provienen de una distribución normal debido a que es de fácil observación que dicha población no se ajusta a los valores teóricos esperados.

De lo expuesto anteriormente se puede decir que la falta de normalidad en dicha muestra se debe a que la geología de la zona presenta diferenciación mineral muy alta, además de poseer zonas en donde el contenido litológico es altamente ferromagnético.



**Fig. N° 4.3 Gráfico Q – Q normal de Intensidad Magnética Total**



**Fig. N° 4.4 Grafico Q – Q normal sin tendencia de IMT**

A partir de todas las pruebas estadísticas anteriores se puede decir que la población no presenta una distribución normal, la cual es el resultado de la diferenciación mineralógica existente en el área, es decir, que los valores de intensidad magnética se encuentran distribuidos en un rango muy amplio, lo cual explica claramente que la geología de la zona viene representada por cambios litológicos abruptos en espacios superficiales muy pequeños, lo que se puede atribuirse a metamorfismo de grado diferentes en la misma zona. Así también la variabilidad de la susceptibilidad presentada en un mismo cuerpo producida por materiales que poseen diferentes magnetismo residual, puede ser causante de la desviación que sufren los datos al momento de ajustarlos.

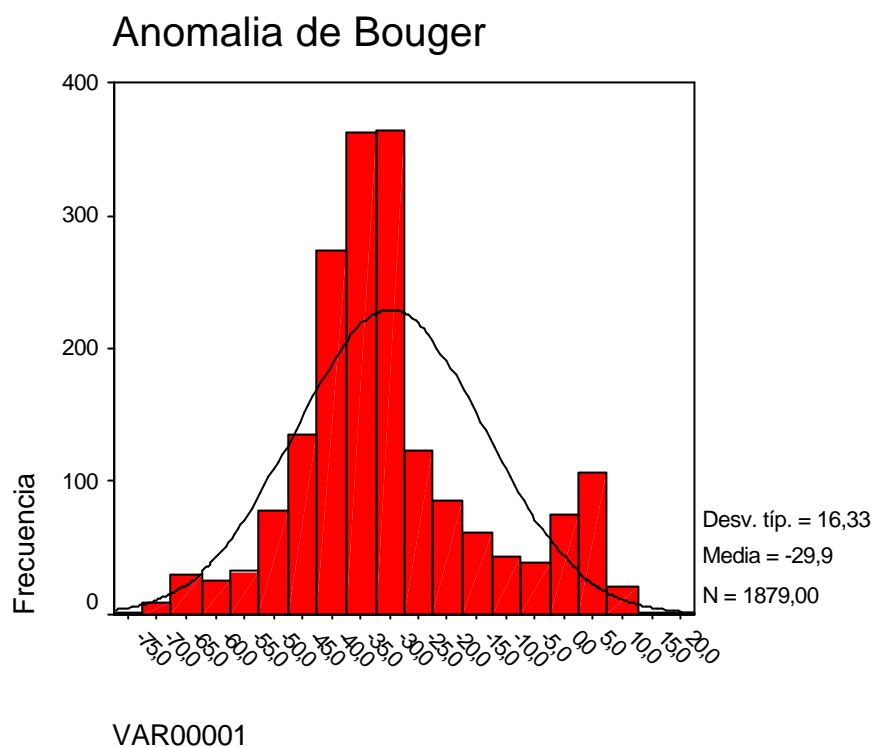
- **4.4 Datos Gravimétricos**

La validación estadística a los datos de anomalía de Bouguer, se aplicó a 1880 datos que abarcan una zona entre las coordenadas: longitud 60° 42' W – 63° 30' W y latitud 6° 00' 45'' N y 8° 15' 50''N.

Como en el análisis anterior, los datos no presentan una distribución de tipo normal, esto es claramente evidenciado por la geología estructural de la zona, la cual se caracteriza por presentar cambios muy abruptos en cuanto a contenidos litológicos, es decir, variabilidad entre los valores de densidad de las rocas y deformaciones entre los contactos.

**Tabla N° 4.8 Valores de tendencia central de anomalía de Bouguer (miligal).**

	<b>ESTADÍSTICO</b>	<b>ERROR TÍPICO</b>
<b>Media</b>	-29,90948733901	0,3766869587365
<b>Mediana</b>	-32,68117	
<b>Moda</b>	-53,527474	
<b>Desviación Típica</b>	16,32841293309	
<b>Varianza</b>	266,6170689135	
<b>Mínimo</b>	-73,335498	
<b>Máximo</b>	18,192009	
<b>Suma</b>	-56199,92671	



**Fig. N°4.5 Distribución de frecuencia de anomalía de Bouguer en la zona de El Manteco.**

## **4.4 ANÁLISIS GEOESTADÍSTICO**

La geoestadística es una colección de métodos estadísticos, que describe la auto-correlación espacial entre datos de la muestra y se utilizan en varios modelos espaciales.

### **Elementos de Geoestadística**

La auto correlación espacial se puede analizar usando correlogramas, funciones de la covariación y variogramas (semivariogramas). En análisis abreviado, la geoestadística tiene generalmente los siguiente pasos de progresión:

1. Valoración del correlograma
2. Valoración de los parámetros del modelo del correlograma
3. Valoración del superficial con Kriging puntual
4. Estimación de valores medios usando el bloque kriging

### **4.1 Análisis Geoestadístico de Población**

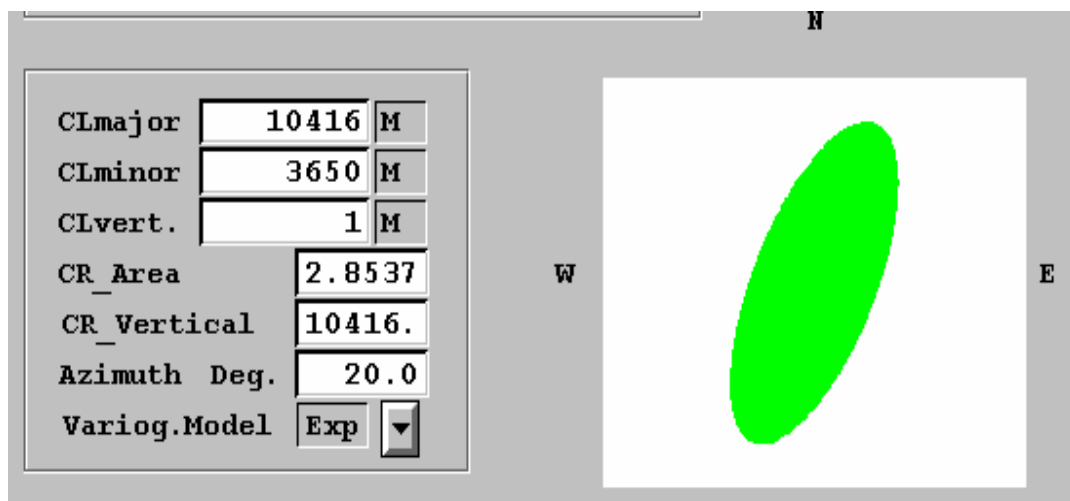
La idea principal de los métodos geoestadísticos es relacionar la variación espacial entre densidades demográficas con la distancia. En el análisis geoestadístico se va a explorar un conjunto de herramientas relacionadas, tales como: funciones, variogramas de covariación y el fenómeno de anisotropía.

Los variogramas se utilizan para describir la correlación espacial entre grados de libertad (o cualquier otra característica) de un depósito cualquiera. El variograma experimental es el variograma que se obtiene de los datos.

Los variogramas son una medida del grado de correlación espacial o continuidad de una variable geológica para una distancia de separación  $h$ . Esto se realiza para todas las muestras que posean una distancia  $h$  y la diferencia ajustada media obtenida.

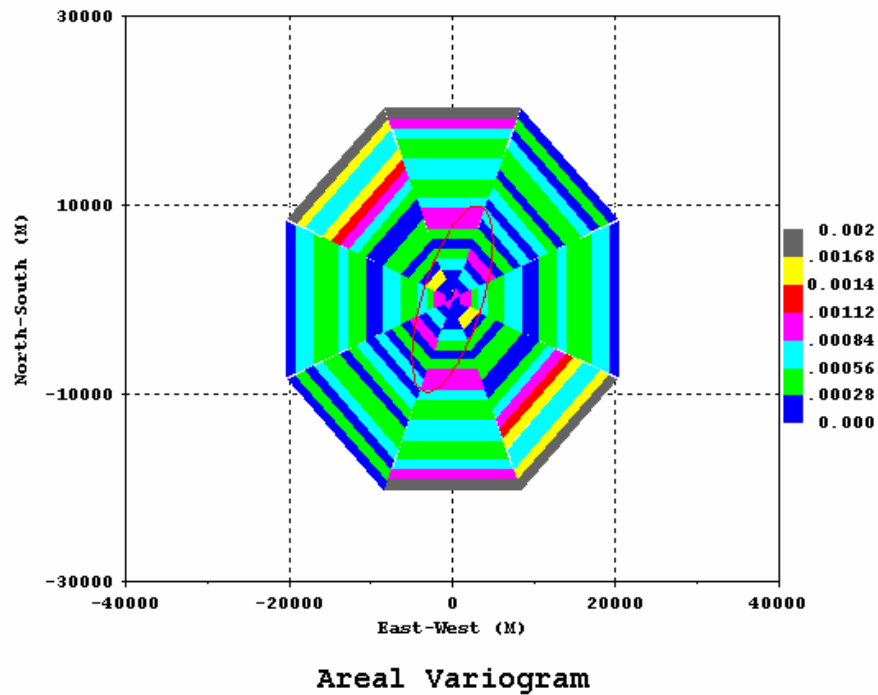
Para el análisis geostatístico se utilizó el programa GRIDSTATPRO 2K.01S, versión del 30 de octubre del 2003, con el cual se realizó el estudio del variograma teórico y así como también el elipse de anisotropía.

En el análisis realizado se muestra que el modelo de menor error y el cual fue utilizado para este análisis es el exponencial, a pesar que se tiene una buena muestra; la población en estudio presenta una variación entre los datos con un rango muy amplio. Cabe señalar de igual manera que la zona en la que se presenta la mayor variación está relacionada con la zona en la que se encuentran los mínimos valores, mientras que existen zonas de menor variación que corresponden con las zonas de máximos valores en el Mapa de Intensidad Magnética Total.



**Fig. N°4.6 Curva de ajuste del variograma teórico de Intensidad Magnética Total.**

Los valores de los eje menor y mayor de la elipse son 10416 y 3650, respectivamente. Su valor de azimut es de 20°.



**Fig. N° 4.7 Roseta de distribución espacial de IMT**

Es importante señalar que en el análisis de la población se puede observar una dispersión en cuanto al comportamiento espacial de los datos, por ende el variograma experimental comparado con el variograma teórico no ofrece una buena ayuda en la interpretación de la distribución espacial de los datos, es decir, que la complejidad en cuanto a la geología presente en la zona, muestra un comportamiento bastante dificultoso en las variables en estudio.

Es significativo tener claro que dicha población no se ajusta a un comportamiento normal, en consecuencia los datos poseen una variabilidad entre sí bastante notoria, la cual es debida a cambios litológicos y a procesos geológicos complejos que se han dado lugar en la zona, así como también a la diversidad en cuanto a contenido litológico de las rocas presentes en el área.

#### **4.5 ANÁLISIS ESPECTRAL Y REDUCCIÓN AL POLO DE LOS DATOS DE INTENSIDAD MAGNÉTICA TOTAL**

Para el análisis espectral, lo normal es realizar transformaciones desde el dominio espacial al dominio de frecuencia, con lo cual se trata de evaluar como se distribuye la energía en función de la frecuencia. O sea hace un estimado de la profundidad de la fuente de la anomalía en función de las relaciones que existen entre la amplitud y la fase. Según Bhattacharyya (1966), cuando se grafica en una escala lineal la frecuencia en función del logaritmo de la energía, se distinguen intervalos de frecuencia donde la variación logarítmica de la energía con la frecuencia puede ser representada por una función lineal, con amplitudes decreciendo cuando se incrementa la frecuencia. Por lo tanto, la pendiente de una línea recta es proporcional a la profundidad al tope del cuerpo.

MAGMAP de Geosoft (1996) determina el contenido de longitudes de onda calculando a su vez la profundidad a la cual está cada fuente. Si consideramos una malla que incluye muchas fuentes, el logaritmo del espectro de estos datos puede ser interpretado para determinar estadísticamente la profundidad de los toques de las fuentes usando la relación (Bhattacharyya, 1996)

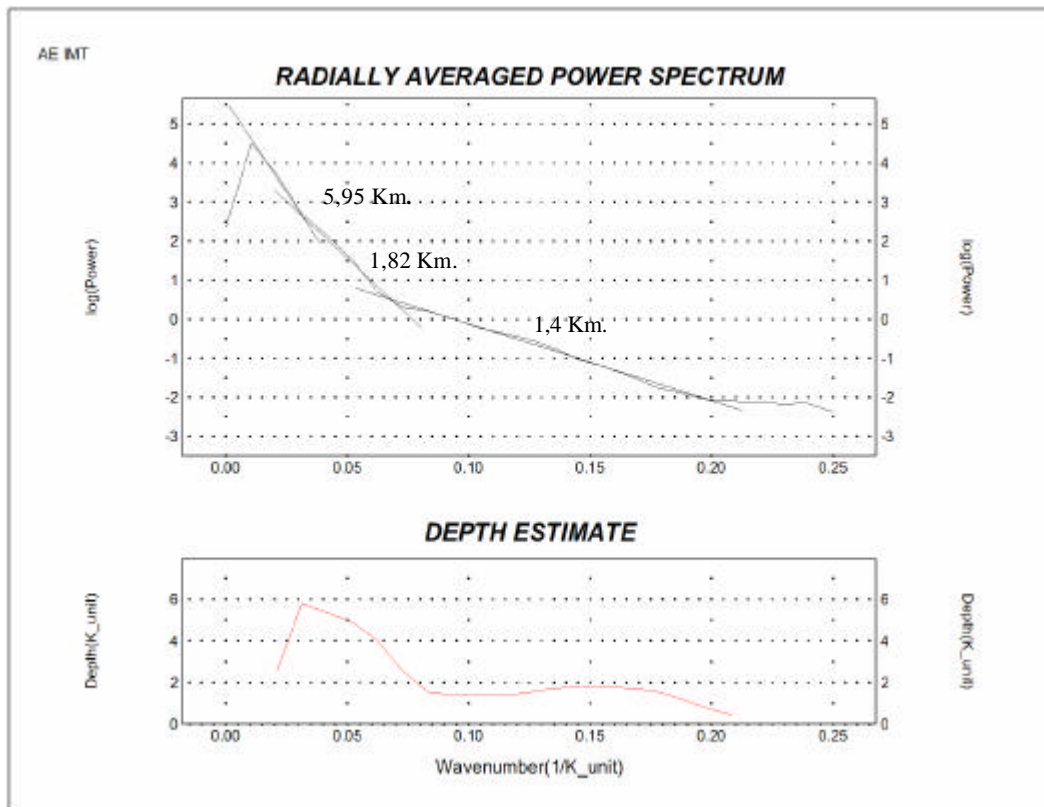
$$\text{Log } E(r) = 4 p h^* r$$

La profundidad de la fuente se determina a partir de la pendiente de la energía del espectro dividida entre  $4p$ .

En el análisis espectral de los datos, se obtuvieron tres niveles de profundidad, que representan las frecuencias de fuentes anómalas. La primera fuente se ubica en un rango de 5,95 Km. a 4,52 Km, la cual se relaciona con una fuente profunda; esta interfase puede ser atribuida al contacto Supamo – Imataca, sin embargo se esperaba que fuera más profunda, de acuerdo a la información sísmica que establece esta



interfase a una profundidad de 7-10 Km. La segunda fuente se encuentra de 1,82 Km. a 1,53 Km., y representa el contacto de Supamo con el cinturón de rocas verdes, y la menos profunda de 0,98 Km. a 1,4 Km. asociada a la zona de Imataca en afloramiento.



**Fig, N° 4.8 Análisis espectral de los datos de Intensidad Magnética Total.**

- **Reducción al Polo**

Este método consiste en reprocesar la intensidad magnética total de los datos asumiendo que el campo magnético inducido tiene una inclinación de  $90^\circ$  y una declinación de  $0^\circ$ . Este método convierte las anomalías bipolares en monopolares centradas directamente en el cuerpo que las causa. Este método asume que las rocas están magnetizadas bajo inducción, o sea en dirección al campo magnético terrestre.

Cuando se hace reducción al Polo la declinación debe ser mayor de  $10^\circ$  y la latitud magnética debe tener valores mayores de 30 grados, ya que esta aplicación no es resolutive en datos adquiridos en áreas cercanas, o sobre, el Ecuador magnético.

En el análisis espectral de los datos de reducción al polo de intensidad magnética total, se permitió determinar el rango de profundidad es similar al del análisis espectral de los datos de IMT (Fig. N° 4.8 ), identificando en este caso dos fuentes anómalas una a 5,97 Km. y otra a 1,77 km. A través de este análisis se puede observar que la respuesta más profunda es atribuida al contacto Supamo –Imataca, y la fuente menos profunda al contacto Supamo – Cinturón de Rocas Verdes.

## **CAPÍTULO V**

### **DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS**

#### **5.1 MAPA DE INTENSIDAD MAGNÉTICA TOTAL - IMT**

Los mapas de anomalías magnéticas representan la respuesta de la litología infrayacente debido a la magnetización de las rocas del subsuelo, a causa del contenido de minerales que actúan espontáneamente como imanes bajo la influencia del campo magnético terrestre.

Al realizar una interpretación cualitativa al mapa de intensidad magnética total, se busca determinar la disposición de las curvas de anomalía, para la identificación de las discontinuidades, disposición, profundidad y prolongación de la fuente anómala.

El mapa de intensidad magnética total (Fig. N° 5.1) cubre un área de 4620.375 Km<sup>2</sup> y se encuentra ubicado en la región norte del Escudo de Guayana, zona El Manteco. En el mapa de intensidad magnética total la orientación preferencial de las líneas isoanomalas es N55E, lo cual evidencia el comportamiento geológico de la zona.

Los mayores valores anómalos se ubican hacia la zona nor-oeste de mapa, específicamente en los alrededores del cerro San Isidro cerca de Ciudad Piar, donde se observan valores máximos de 24500 gammas. Los mínimos observados se ubican al sur - este del mapa de intensidad magnética donde aflora el Complejo Supamo, y son del orden de 4500gammas.





Hacia la zona de Ciudad Piar se observan los máximos gradientes de 60 gammas/km. que tienden a disminuir progresivamente hacia el sur-este hasta valores de 0,4 gammas/km., donde aflora el Complejo Supamo.

Se observa en la Fig. 5.2, en la que fue incorporado el mapa geológico, una zona transicional formada por el cinturón Caroní – Paragua que incluye las formaciones Caruto, Aza, Cachimbo y el sistema de fallas. Estas formaciones son similares o correlacionables con el cinturón de Guasipati ubicado hacia la zona noreste del Escudo de Guayana.

Como se observa (Fig. N° 5.2), hay dos zonas con respuestas litológicamente magnéticas. Una de estas zonas tiene anomalías extremadamente suaves que corresponden a la zona del cinturón Caroní – Paragua y el Complejo Supamo. La otra zona en el mapa magnético está demarcada por curvas notablemente más acentuadas, las cuales corresponden a los contactos geológicos observados en Imataca, de sumo interés para una exploración mas detallada.

## 5.2 SEPARACIÓN REGIONAL Y RESIDUAL DEL MAPA DE INTENSIDAD MAGNÉTICA

Se determinaron las superficies polinómicas del Mapa de Anomalías Magnéticas (Fig. N°5.1), por el método de tendencia polinómica, mediante la utilización de mínimos cuadrados. La separación regional – residual se realizó con el programa SURFER v 6.0 (GOLDEN SOFTWARE Inc. 1996)

Mediante el criterio estadístico de bondad de ajuste se determinó que el polinomio de grado dos es el que provee el mejor ajuste para la construcción de los mapas de los regional y residual.

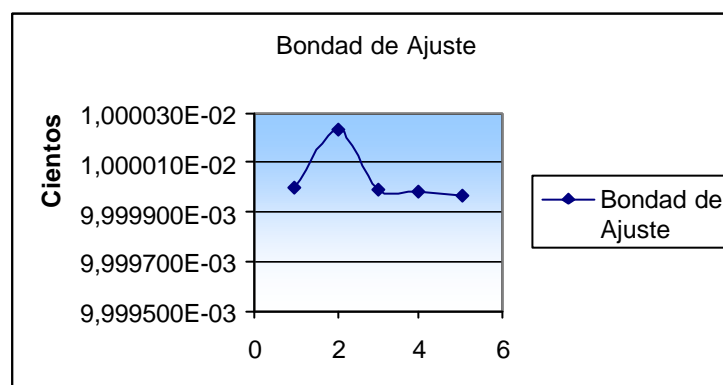


Fig. N° 5.3 Grafico de Bondad Ajuste

- **Mapa de Intensidad Magnética Regional de Grado Dos**

De manera general el mapa regional de IMT (Fig. N° 5.4) presenta una tendencia suave que disminuye progresivamente de nor-oeste al sur – este. Los valores máximos del mapa regional de IMT son del orden de 9200 gammas, en la zona donde aflora el Complejo Imataca, y el mínimo de 6100 gammas puede ser atribuido al Complejo Supamo. En la parte nor-oeste hay un aumento progresivo del gradiente de 1gamma/km, que se encuentra en concordancia con la geología de la zona, ya que es esta área se encuentra el Cerro San Isidro.





## **Mapa de Intensidad Magnética Residual de Grado Dos**

El mapa de anomalía residual de IMT (Fig. 5.5) muestra tres zonas principales de anomalía, la primera con respuesta litológicamente magnética, corresponde a la presencia de los afloramientos de cuarcita ferruginosa del Complejo Imataca con valores de 1000 gammas, la cual es de sumo interés para la explotación de hierro. Sin embargo, el Complejo de Imataca tiene otras zonas de interés económico debido a sus mineralización de caolín, manganeso y bauxita, así como también para la industria de la construcción como piedra triturada (agregado para concreto, balastro, etc) y rocas ornamentales (pisos, fachadas, columnas, etc.), las cuales no muestran respuesta magnética.

La otra zona de anomalías extremadamente suaves de valores de 0 a 10 gammas, corresponde a la zona del cinturón Caroní – Paragua, donde no se observan indicios de mineralizaciones importantes.

Sin embargo hacia la zona nor – este del mapa residual de IMT, específicamente hacia la zona de El Manteco, donde aflora el Complejo Supamo, se observa un área con valores entre 380 y 100 gammas, que pueden ser atribuida a posibles asociaciones de mineralización aurífera.



### **5.3 MAPA DE REDUCCIÓN AL POLO DE LOS DATOS DE IMT**

Para determinar puntualmente las variaciones de las propiedades magnéticas aportadas por el mapa de IMT se utiliza el método de reducción al polo. La reducción al polo permite ver las anomalías como si estuvieran al polo, en un campo vertical. Esto permite ver las anomalías sobre y con una geometría representativa de los cuerpos causantes.

En el mapa de reducción al polo (Fig. 5.6) la presencia de cuerpos de altos valores de intensidad magnética se atribuyeron al Basamento Pre – Cámbrico, específicamente la Provincia de Imataca, ya que poseen valores mas altos de anomalía magnética.

Mediante los mapas de intensidad magnética y reducción al polo, se estableció que los máximos de anomalía corresponden a grandes concentraciones mineralógicas, específicamente asociadas a los afloramientos de cuarcitas ferruginosas. Los valores de menor intensidad corresponden al Complejo Supamo donde las mineralizaciones son escasas.

En la zona sur – oeste se ubica una zona con valores de 7800 gammas posiblemente debido a mineralizaciones que se han formado por concentración residual de óxidos e hidróxidos de hierro a partir de las cuarcitas ferruginosas de la serie Imataca, que se encuentran cercanas al área de estudio



#### **5.4 MAPA DE ANOMALÍA DE BOUGUER**

El mapa de anomalía de Bouguer (Fig. N°5.7) fue generado con datos de la Red Gravimétrica Nacional, proporcionado por el Departamento de Geofísica de la Universidad Central de Venezuela. La base de datos comprendido entre las latitudes 6° N - 8° 15'N y longitudes 60° W - 64° W fue utilizado para la realización de el mapa de anomalía de Bouguer del norte del Escudo; de la cual se extrajo una fracción del entre longitudes 62° 45' W– 63° 15'W y latitudes: 7° 15'N – 7°30'N correspondiente a la zona de estudio.

La tendencia del mapa de anomalías de Bouguer es esencialmente EW por el efecto de fondo representado con valores máximos del orden de –30 miligales, hacia la zona norte - oeste del mapa, específicamente hacia la zona de Ciudad Piar (Cerro San Isidro) donde aflora en superficie la Provincia Imataca.

Se destaca igualmente un mínimo de –56 miligal, que refleja una disminución progresiva de los valores de anomalía en el mapa de norte a sur; esta disminución es debida en parte a la presencia de Granitos Imataquenses y a las zonas granitoides del Complejo de Imataca.

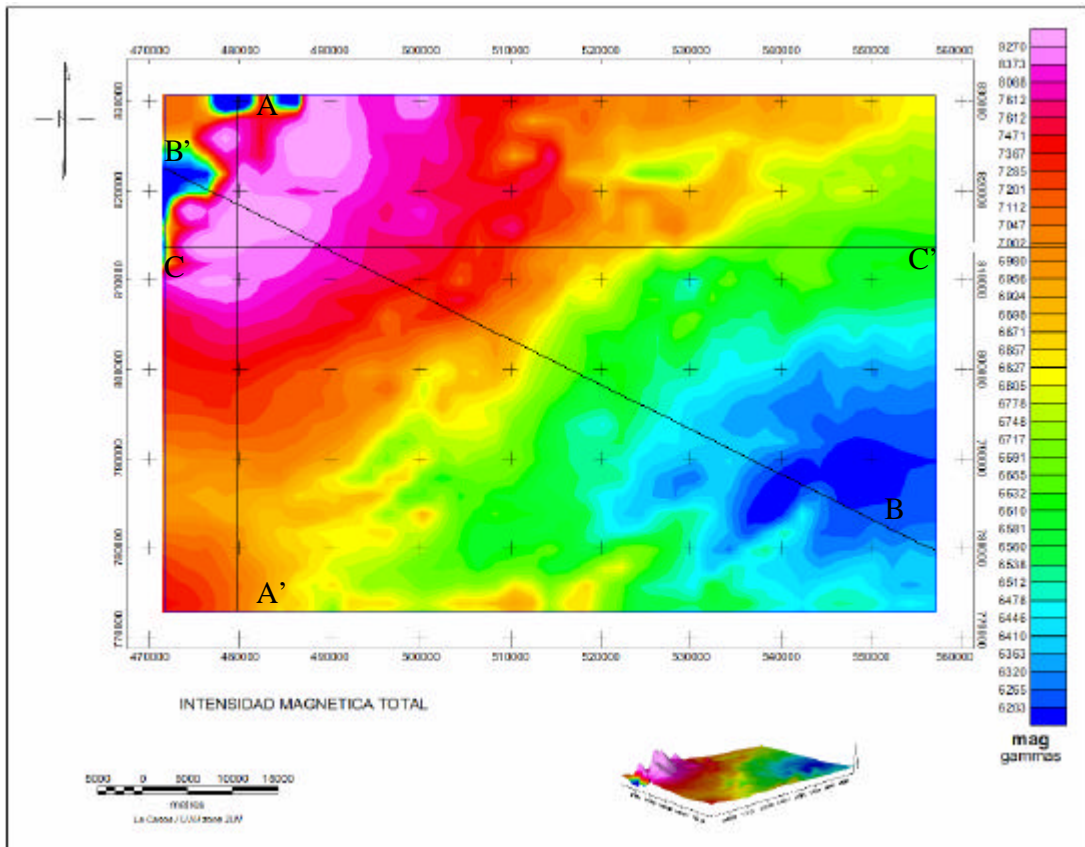
El gradiente más alto que se encuentra en el mapa de anomalía de Bouguer es de 1,8 mgales/km, pero en general como se observa en la Fig. N° 5.8 el comportamiento es muy suave y uniforme entre las estructuras pudiendo inferirse que esto es debido a que litológicamente poseen poco contraste de densidades.





## 5.4 INTERPRETACIÓN Y MODELADO BIDIMENSIONAL

### 5.4.1 Construcción de los Perfiles



**Fig. N°5.9 Mapa de Intensidad Magnética y ubicación de los Perfiles**

#### 1. Perfil N-S

El perfil AA' como se muestra en la Fig. N° 5.9, se ubica en dirección N-S en la longitud  $63^{\circ} 10' 48''$ W y posee una extensión 55 km. En el perfil se observan las máximas anomalías de IMT representadas por el cerro San Isidro.



## 2. Perfil N64W

El perfil BB' se ubica en la dirección N64W, posee una extensión de 95,6 km. y muestra la variación desde los valores mínimos de Supamo hasta los máximos de Imataca.

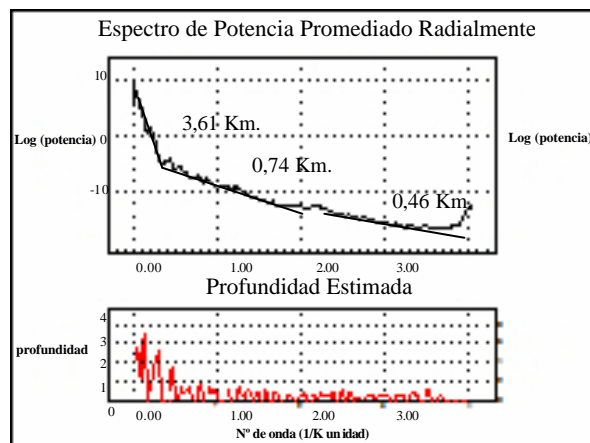
## 3. Perfil E-W

El perfil CC' se ubica en la dirección E-W, en la latitud  $7^{\circ} 21' 13''$ N, con longitud de 250 km., ya que extiende entre las longitudes  $63^{\circ} 15' W$  y  $61^{\circ} W$ . Este perfil se realizó como un trabajo conjunto entre E. Vargas (2004), N. Escoriguela (2004) y la sustenta, este perfil abarca todo el cinturón de Guasipati y está controlado por el modelo sísmico de velocidades de Chalbaud (2001).

### 5.4.2 Análisis Espectral de los Perfiles

Con el análisis espectral aplicado, se estimó la profundidad a la que se encuentra la fuente de las anomalías magnéticas para los perfiles seleccionados.

#### Análisis Espectral del perfil N-S



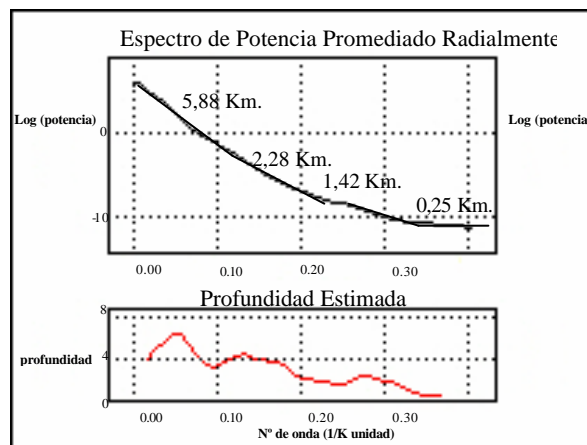
**Fig. N° 5.10 Análisis espectral de Intensidad Magnética Total del perfil N-S**

En el perfil N-S se observan tres fuentes generales, la primera y más profunda se ubica a 3,61 km. producto de las rocas ultramáficas de Imataca, la segunda de zona

intermedia a 0,74 km. corresponde a la laterita del Cerro San Isidro, y la menos profunda a 0,46 km. a la zona de finos y cuarcita dura del mismos Cerro; cabe destacar que los datos IMT fueron adquirido a una alterna de 152 metros sobre el nivel de tierra, y el Cerro San Isidro posee una altura aproximada de 550 metros.

#### Análisis Espectral del Perfil N64W

En el análisis del perfil N64W, se observan cuatro fuentes anómalas, la primera y más profunda se ubica en 5,88 km., lo cual corresponde al contacto Supamo – Imataca, la segunda se localiza a 2,28 km. de profundidad correspondiente a las anomalías que genera el cinturón Caroní – Paragua, la tercera y cuarta de 1,42 km.y 0,25 Km. generadas por el Complejo Imataca.

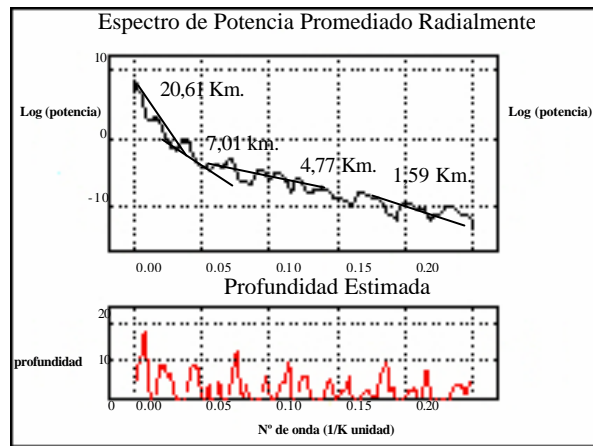


**Fig. N° 5.11 Análisis espectral de Intensidad Magnética total del perfil N64W**

#### Análisis Espectral del Perfil E - W

En el análisis espectral para el perfil E –W total (250 Km. de extensión) (Fig. N°5.12), la anomalía de la fuente más profunda corresponde a un valor de 20,61 Km.; comparado con los anteriores, muestra una profundidad mucho mayor, lo cual corresponde al cinturón de Guasipati donde el análisis espectral de los datos de la

zona noreste de Guayana proyectan profundidades hasta de 24 km., las otras tres profundidades son las observadas en los análisis de los perfiles N64W y N-S.



**Fig. N° 5.12 Análisis espectral de Intensidad Magnética total del perfil E – W**

#### **5.4.3 Restricciones para el Modelado Magnético.**

La información geológica de superficie para este trabajo proviene del Mapa Geológico Estructural de Venezuela (M.E.M., 1976), y como apoyo el Mapa Geológico tomado de WYNN et al.(1993). (Fig. N° 1.2).

Para definir las profundidades de las unidades de la corteza superior y Manto se dispuso de la información sísmica interpretada por Chalbaud (2001), quien definió la estructura y espesor geológico de la zona por medio de un modelo de velocidades.

Para el control del modelado geofísico, se utilizó el mapa de anomalía de Bouguer (Fig. N° 5.7), que permitió delimitar las estructuras a través de un modelo de la geometría de subsuelo, y para el control de las profundidades de las unidades se contó con los resultados del análisis espectral de los datos de intensidad magnética total.

#### **5.4.4 Modelado de Perfiles**

El control geológico de los perfiles se realizó sobre la base de la geología de superficie de la zona de estudio y la evolución tectónica, debido a las complejidades estructurales producidas por los sucesivos eventos metamórficos y el alto flujo de calor, se observan estructuras que se manifiestan en forma de pliegues, fallas y cabalgamientos.















Para el modelado gravimétrico se utilizaron los datos de la Red Gravimétrica Nacional, y la información geológica del área. De igual manera se utilizaron las mediciones sísmicas de refracción, para obtener las estructuras corticales y el espesor en esta zona.

Finalmente el modelado magnético tuvo como base la geometría propuesta para los cuerpos en el modelo gravimétrico, tal que los nuevos parámetros a considerar o

incorporar son la susceptibilidad magnética y la magnetización. Los valores de estas profundidades asignadas a las secuencias modeladas se describen en la tablas N° 5.1

Para el modelado del subsuelo se utilizó el programa GMSYS de Geosoft y para la presentación final de éstos se generó un archivo \*DFX desde el programa inicial hasta AUTOCAD 2004.

**Tabla N° 5.1 Descripción de las Unidades de los Modelos Geológicos**

LEYENDA	UNIDAD GEOLÓGICA	DENSIDAD gr/cm	SUSCEPTIBILIDAD
	Fm. Carapo	2,66	0,001
	Fm. Manamundo	2,64	0,001
	Fm. Cachimbo	2,64	0,0001
	Fm Aza	2,64 – 2,57	0,0001
	Grupo Caroní	2,63	0,00002
	Fm. Carichapo	2,66	0,00002
	Fm. El Caruto	2,65	0,00002
	Fm. El Callao	2,80	0,004
	Fm. Yuruari	2,60	0,0003
	Complejo Supamo	2,7	0,002
	Complejo Supamo Removilizado	2,6	0,003
	Complejo Imataca	2,74	0,025 – 0,056
	Rocas Ultramaficas	3	0,056
	Manto Superior	3,2	0,036

#### 5.4.5 Análisis de los Modelos

En el perfil N-S (Fig. N° 5.13), de longitud  $63^{\circ} 10' 48''W$ , se distinguen tres estructuras importantes, la primera es el cinturón Caroní – Paragua al sur del modelo, compuesto por un conjunto de rocas metasedimentarias, representadas por las formaciones Cachimbo, Aza y Manamundo, en esta zona se observan los mínimos en anomalía magnética y gravimétrica.

En la zona central del modelo se observa el Complejo Supamo compuesto de rocas ígneas ácidas, entre las cuales se han descrito granodioritas, cuarzo dioritas, tonalitas y trondhjemitas. En el modelo se observan las rocas graníticas rejuvenecidas y/o removilizadas de Supamo, que cortan al cinturón de rocas verdes. Durante la orogénesis Transamazónica estas estructuras, adquirieron movilidad suficiente para intrusionar su cubierta, de este proceso se generaron los granitos post – tectónica y sin – tectónica, que deforman la secuencia supracortical.

Por último tenemos al Complejo Imataca, el cual abarca toda la secuencia de rocas metamórficas de alto grado, que incluye las cuarcitas ferruginosas, ubicadas específicamente en el cerro San Isidro; a este complejo se le atribuyen las fuentes anómalas descritas en el análisis espectral, las cuales toman valores máximos de anomalía magnética de 10500 gammas y anomalía gravimétrica  $-60$  mgales.

El perfil N64W se compone de la misma litología del perfil AA', en él se observan los valores mínimos de intensidad magnética total al sur del modelo, donde aflora el Complejo Supamo y donde fueron identificadas las fuentes anómalas profundas, debido al contacto Supamo – Imataca. La base del complejo se ubica a una profundidad de 6 – 8 km., lo cual se encuentra en concordancia con el análisis espectral.







De igual forma se distingue el cinturón de rocas verdes Caroní – Paragua, formado por el Grupo Carichapo y el Grupo Caroní, fuentes anómalas intermedias, que se localizan a una profundidad de 2,5 a 4 km., la fuente menos profunda o somera se atribuye al afloramiento de Imataca al norte del modelo.

El error gravimétrico para este modelo (Fig. N° 5.14) es de 0,1 mgal. Sin embargo el error magnético ajustó a 34 gammas, debido a que existen anomalías de muy altas frecuencias producidas por el Complejo Imataca.

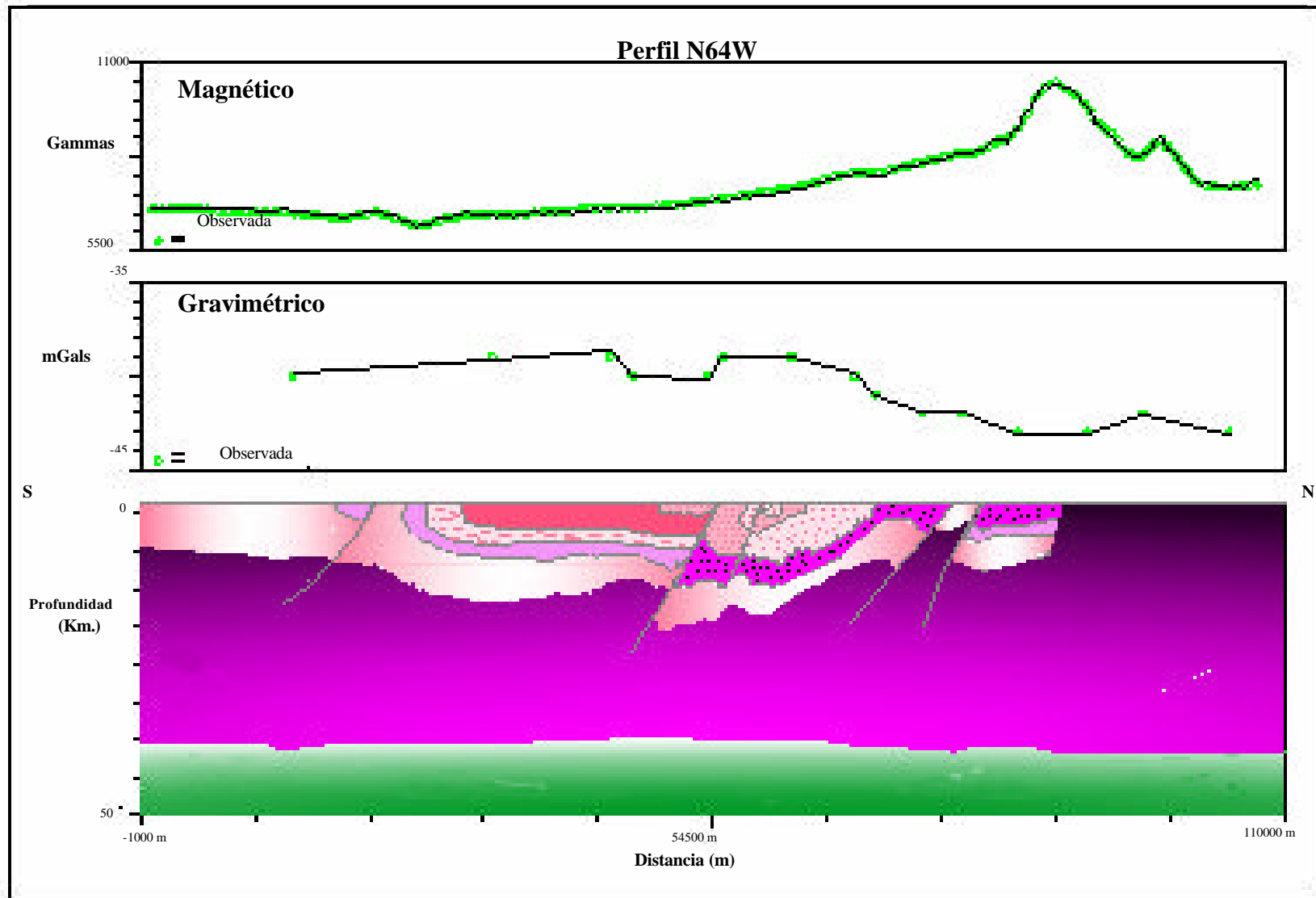
El perfil E-W extendido posee una extensión de 250 km.; debido a su complejidad geológica este modelo fue amarrado al modelo de velocidades propuesto por Chalbaud D. (2001), éste perfil está basado en el mapa de intensidad magnética total de toda el área (anexo 2), en él se describe el cinturón de rocas verdes de Guasipati, donde se observa cizallamiento y cambios hidrotermales producto de la evolución tectónica de la zona.

La primera parte del perfil E-W1 posee una extensión de 86 Km y corresponde en su mayoría al cinturón Caroní – Paragua. Sin embargo, debido a los cambios en cuanto a su características de mineralización y comportamiento geológico, la anomalía gravimétrica es bastante uniforme. En el perfil E-W se observan los valores máximos en el cinturón de rocas verdes específicamente en la Fm. El Callao y los mínimos en el Complejo Supamo, sin embargo se mantiene el mismo comportamiento anterior en cuanto a la anomalía magnética de intensidad total. Las fuentes anómalas identificadas en el análisis espectral se encuentran a una profundidad de 20,61 Km., correspondiente a la base del Complejo Supamo y las más someras al cinturón de rocas verdes y los afloramientos del Complejo Imataca.

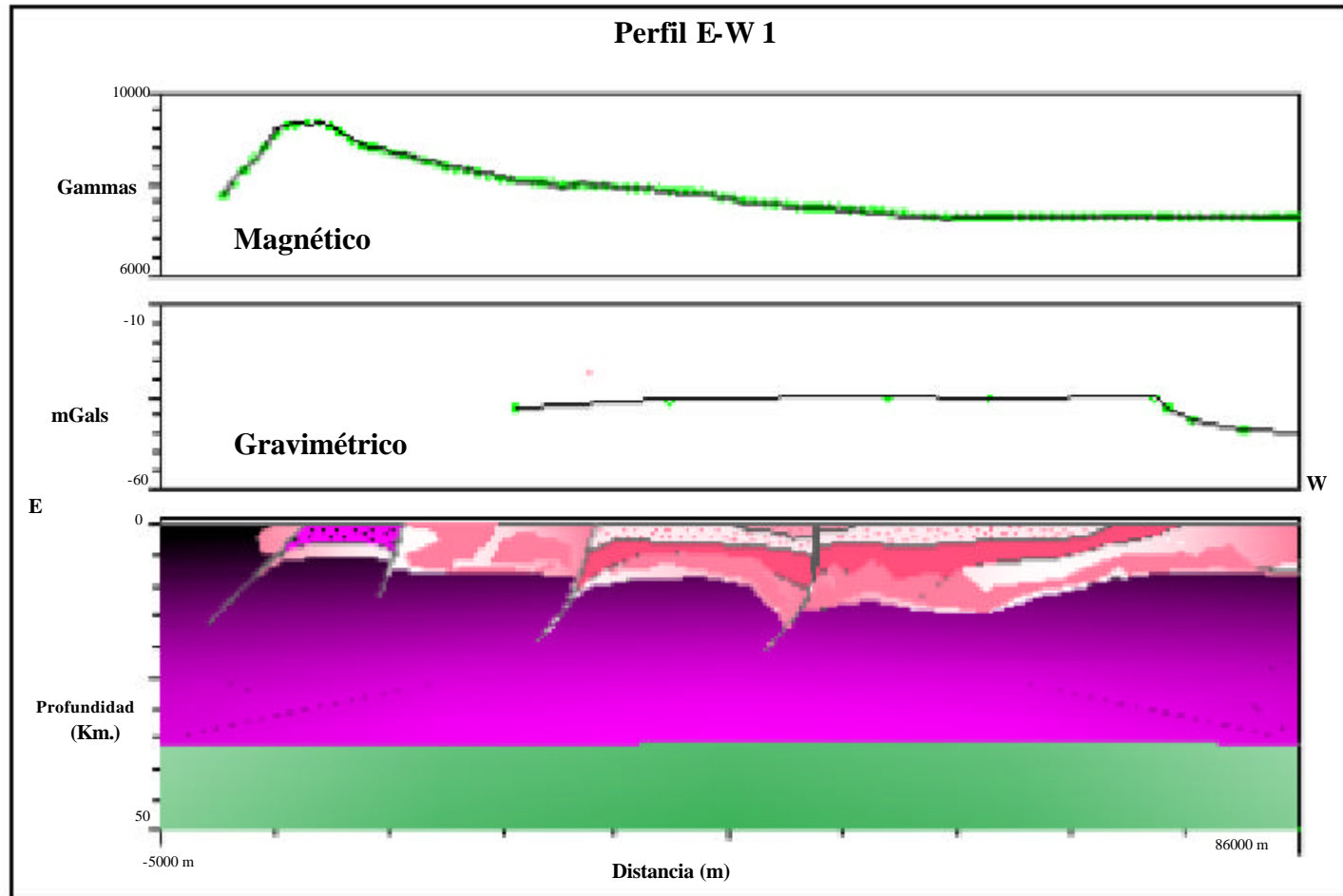
Sin embargo, el máximo valor de intensidad magnética total corresponde al afloramiento del Complejo Imataca al Este del modelo, específicamente el cerro San Isidro.



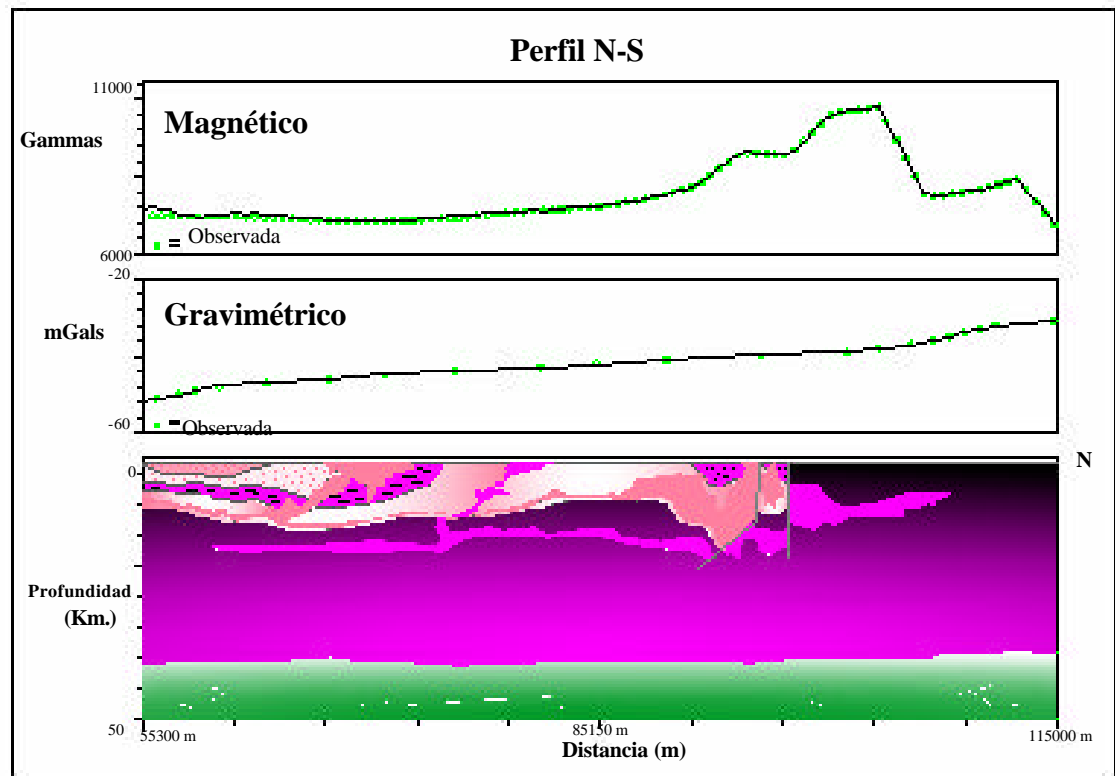




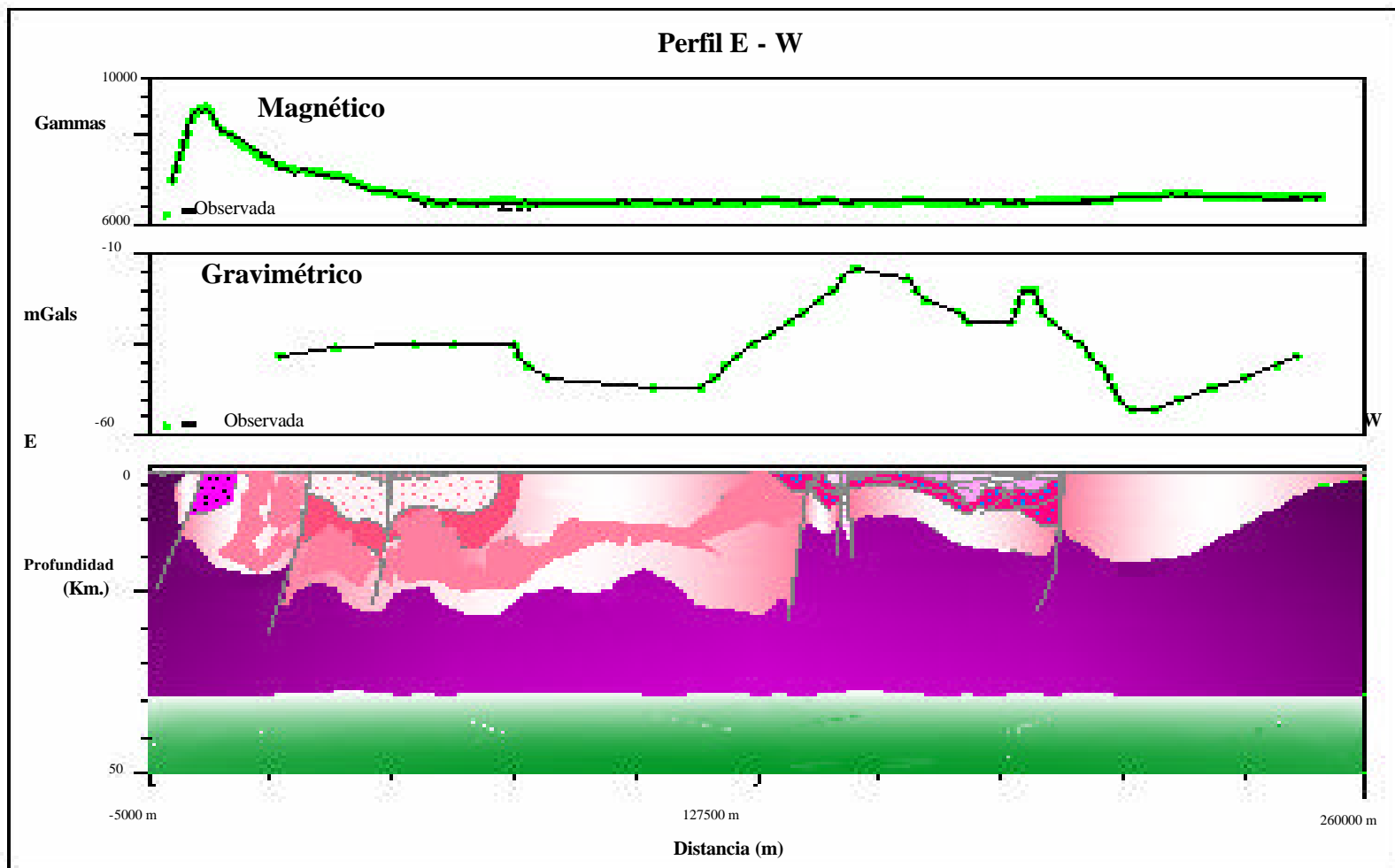
**Fig. N° 5.14 Modelo de Intensidad Magnética Total y Anomalia Gravimétrica del Perfil N64W**



**Fig. N° 5.15 Modelo de Intensidad Magnética Total y Anomalía Gravimétrica del Perfil E-W**



**Fig. N° 5.13 Modelo de Intensidad Magnética Total y Anomalía Gravimétrica del Perfil N-S**



**Fig. N° 5.16 Modelo de Intensidad Magnética Total y Anomalia Gravimétrica del Perfil E-W**

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

A continuación se presentan las conclusiones correspondientes a partir del análisis de los resultados:

1. Los valores de intensidad magnética se encuentran distribuidos en un rango muy amplio, lo cual explica claramente que la geología de la zona viene representada por cambios litológicos abruptos de variabilidad de la susceptibilidad magnética en espacios superficiales muy pequeños. Esto se refleja en los datos de IMT del área de estudio que no presentan una distribución normal.
2. La orientación preferencial de los contornos del mapa de IMT es N 55° E, en concordancia con el rumbo de las estructuras geológicas presentes en la zona de estudio.
3. Se presentan zonas con anomalías suaves de IMT que corresponden a la zona del cinturón Caroní – Paragua y el Complejo Supamo. La otra zona en el mapa magnético está demarcada por curvas notablemente más acentuadas, las cuales corresponden a los contactos geológicos observados en Imataca, la cual es de sumo interés para una exploración más detallada.
4. En el mapa de anomalía residual de IMT se observan tres zonas de anomalías máximas correspondientes a la presencia de los afloramientos de cuarcita ferruginosa de Imataca, la cual es de sumo interés para la explotación de hierro.



5. En el mapa residual de IM específicamente hacia la zona de El Manteco, donde aflora el Complejo Supamo, se observan anomalías que pueden ser atribuidas a posibles asociaciones de mineralizaciones auríferas.
6. En los modelos se distinguen tres estructuras importantes, la primera es el cinturón Caroní – Paragua, compuesto por un conjunto de rocas metasedimentarias, representadas por las formaciones Cachimbo, Aza y Manamundo, en esta zona se observan los mínimos en anomalía magnética y gravimétrica.

En la zona central de los modelos se observa el Complejo Supamo compuesto de rocas ígneas ácidas, entre las cuales se han descrito granodioritas, cuarzo dioritas, tonalitas y trondhjemitas. De igual forma se observan las rocas graníticas rejuvenecidas y/o removilizadas de Supamo, que cortan al cinturón de rocas verdes. Durante la orogénesis Transamazónica estas estructuras, adquirieron movilidad suficiente para intrusar su cubierta, de este proceso se generaron los granitos post – tectónica y sin – tectónica, que deforman la secuencia supracortical.

Por último tenemos al Complejo Imataca, el cual abarca toda la secuencia de rocas metamórficas de alto grado, que incluye las cuarcitas ferruginosas, ubicadas específicamente en el cerro San Isidro; a este complejo se le atribuyen las fuentes anómalas descritas en el análisis espectral.

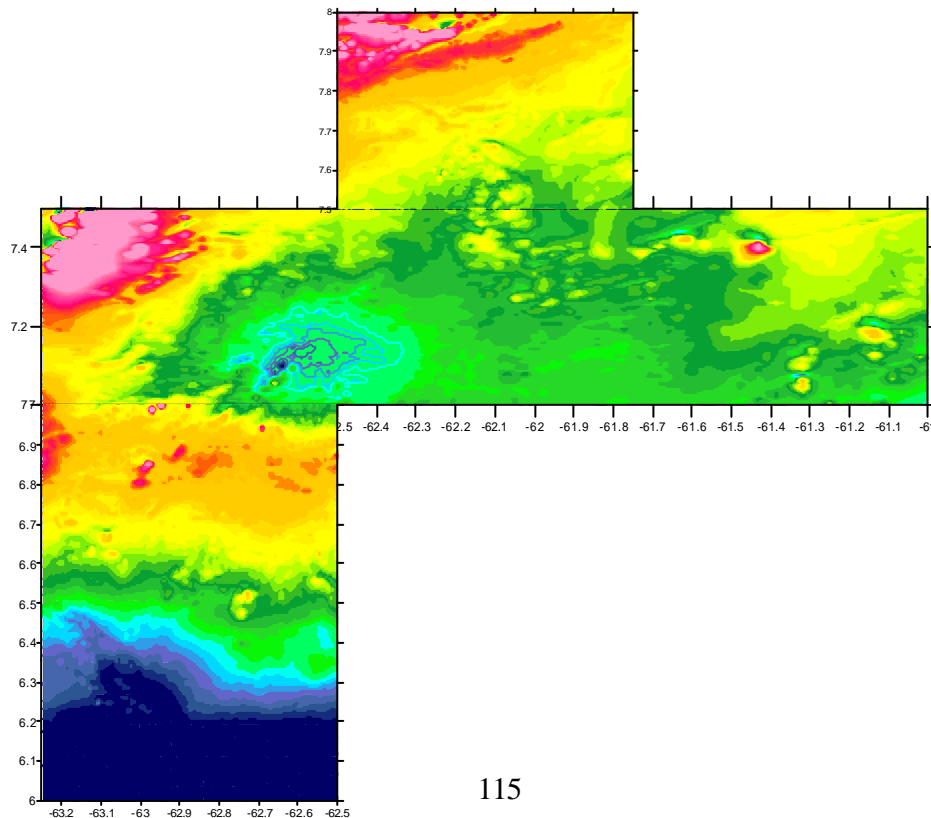
Igualmente es posible sugerir para estudios posteriores, como recomendación:

1. Revisar las zonas de fallas indicadas, con más detenimiento, a fin de ubicar posibles zonas de mineralizaciones, además de las de los minerales de hierro.
2. De igual forma, en vista de las grandes áreas de cuarcitas-ferruginosas, se debe efectuar un estudio magnético terrestre a detalle en las zonas con alto contenido de magnetita.

## CONCLUSIONES GENERALES

1. Base de datos de IMT unificada de toda la zona estudiada.
2. Mapa de IMT de la zona investigada en los 6 TEG:
  - Identificación de Unidades Litológicas y Estructurales, valores máximos extremos asociados a la Provincia de Imataca al NW y a la presencia de ultrabásicas en otras regiones, mínimos extremos asociados a la Provincia de Roraima.
  - Identificación de estructuras hasta ahora no reportadas en la literatura geológica.
3. Ubicación del depocentro de Roraima
4. Proposición de zonas mineras prospectivas asociadas a los Cinturones de Rocas Verdes de Guasipati, Caroní, tanto en afloramiento como a nivel del subsuelo

**Mapa de IMT integrado**



## BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIA CITADAS

Algomed, P. (sin .f) **La Geofísica en la Industria Petrolera**. Universidad de Oriente, Núcleo Bolívar. Venezuela.

Anhaeusser, C. y R. Mason (1969) **Reappraisal of some aspects of Precambrian shield geology**. Geol. Soc. Amer. Vol. 80 N°11, p. 2175-2200.

Armstrong, M. (1994) **Bon Sens et Géostatistique**. Bulletin de Liaison des Anciens Stagiaires du Centre d'Etudes Superiours des Matieres Premieres CESMAT, N°.40, 8 p.

Armstrong, M. y J. Carignan (1997) **Géostatistique Linéaire**. Application au Domaine Minier. École de Mines de Paris, France, 112 p.

Asconio, T. (1975) **El Complejo de Imataca en los alrededores de Cerro Bolívar**. Estado Bolívar, Venezuela. Conf. Geol. Inter. –Guyana X, Belen – Pará. Brasil. Memoria: 181-179.

Astier, J. (1975) **Geofísica Aplicada a la Hidrogeología**. Editorial Paraninfo. Madrid. España.

Balsley, J. (1946). **The Airborne Magnetometer**. USGS Geophysical Investigation, Preliminary Report 3.

Benaím, N. (1972) **Geología de la Región de Botanamo**, Estado Bolívar, IV Cong. Geol. Venez., Caracas, 3: 1291-1314

Bullard, E. C. (1949). **Terrestrial Magnetism**. Phys Today. 2 ,(9, 6): 13p.

Cantos, F., J. (1974). **Tratado de Geofísica Aplicada**. Ed. Litoprint. Madrid España

Chalbaud, D. (2001). **Determinación del espesor cortical del Escudo de Guayana a partir del análisis de información de sísmica de refracción**. Trabajo Especial de Grado, Universidad Simón Bolívar. Venezuela.

Chase, R. L., 1965. **El Complejo de Imataca, la Anfibolita de Panamo y la Trondhjemita de Guri: rocas Pre-Cámbricas del Cuadrilátero de las Adjuntas-Panamo, Estado Bolívar, Venezuela**, *Bol. Geol.*, Caracas, 7(13): 105-215

Chica-Olmo, M. (1997) **Análisis Geoestadístico en el Estudio de la Explotación de Recursos Minerales**. Tesis Doctoral, Universidad de Granada, España, 387 p.

Condie, K.C. (1973) **Archean magmatism and crustal thickening**. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 84: 2981-2992.

Dobrin, M. B. (1969). **Introducción a la Prospección Geofísica**. Segunda edición, ediciones Omega, S.A, Barcelona.

-----, (1972) **Origen y Metamorfismo de los Gneises de Imataca y Los Indios, Rocas Precámbricas de la Región de Los Indios - El Pilar, Estado Bolívar**, Venezuela. *Bol. Geol. Pub. Esp.* 5, 3, 1337-1548

-----, (1977) **The Imataca Complex near Cerro Bolívar Venezuela A calcalkaline Archean protolith**, *Precambrian Research* 4 (3): 237-268

Erasmó, A. (2001) **Análisis Geoestadístico y Espectral de datos aeromagnéticos de la zona Noroccidental del Estado Amazonas**. Trabajo Especial de Grado, Departamento de Geofísica. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Universidad Central de Venezuela, Caracas.

Espejo, A. (1974-a) **Geología de la región El Manteco-Guri, Estado Bolívar, Venezuela**. IX Conf. Geol. Interguayanas, Ciudad Guayana, Estado Bolívar.

----- (1974-b) **Guía de la excursión N° 3, Upata-El Manteco. IX Conf. Geol. Interguayanas**. Ciudad Guayana, Estado Bolívar. p. 68-83.

Freund, J. E. y G. A. Simon (1992) **Estadística Elemental** Editorial Pearson Educación. México 566p.

Fuentes, L. **SPSS Paquete Estadístico para las Ciencias Sociales**. Centro de Computación Académicas. Facultad de Ciencias Económicas y Sociales.

GEOSOFT (1996) **Manual del usuario. MAGMAP y GM-SYS**.

González de Juana, C.; J. I. de Arozena y X. Picard (1980) **Geología de Venezuela y de sus Cuencas Petrolíferas**. Caracas, Ed. Foninves, Tomos I y II.

Kalliokoski, J., (1965) **Geology of north central Guayana Shield, Venezuela**. Geol. Soc. Amer. Bull., 76(9): 1027-1050. Resumen (1965) en Asoc. Venez. Geol. Min. y Petról. Bol. Inform., 8(11): 328-329.

León, C. (2003) **Exploración. La Incesante Tarea de Buscar Mineral de Hierro**. El Minero, Año 49 (N°1), 6-1

**Léxico Estratigráfico** (1996) Electrónico de Venezuela. Documento patrocinado por Petróleos de Venezuela, S.A.

Liddicoat, W., J. Ruckmick, y S. Luchsinger (1970) **Guía de la excursión, Cerro Bolívar**. Mem., VII Congr. Geol. Venezolano, p. 55-58

Logachev ,A. y V. Zajarov. (1978) **Exploración Magnética**. Editorial Reverté, Barcelona.

Martín, B. (1972) **Paleotectónica del Escudo de Guayana**. Conf. Geol. Inter. – Guayanas IX. Ciudad Guayana, Venezuela. Memoria, Bol. Geol., Caracas, Publ. Esp. 7, I: 371-388.

McCandless, G. C. (1965) **Reconocimiento Geológico de la Parte Occidental del Estado Bolívar**. Bol. Geol., 7(13): 19-28.

McNish, A. G., Hulburt E. O. (1939) **Terrestrial Magnetism and Electricity**. McGraw Hill, New York, 308 – 384 p.

Mendoza, V. (1972) **Geología del Area del Río Suapure, Parte Noroccidental del Escudo de Guayana, Estado Bolívar**. Venezuela. IX Conf. Geol. Interguayanas, Mem., Bol. Geol., Public. Esp. 6, p. 306-338.

----- (1973) **Evolución tectónica del Escudo de Guayana**. (Resumen). Cong. Latinoamericano de Geología II, Caracas, Noviembre 1973, Resúmenes: 75.

----- (1977) **Evolución Tectónica del Escudo de Guayana**. Cong. Latinoamericano Geol. II, Caracas, Noviembre 1973, Memoria, Bol. Geol., Caracas, Publ. Esp. 7, III: 2237-2270.

Menéndez, A. (1968) **Revisión de la estratigrafía de la Provincia de Pastora según el estudio de la región de Guasipati, Guayana Venezolana**. Bol. Geol., 9 (19): 309 - 338.

----- . (1972) **Aspectos tectónicos de la evolución geológica del Escudo de Guayana.** (Resumen). IV Cong. Geol. Venez., Caracas, 1969, MEM., I: 240-243.

----- (1994) **Cinturones de Rocas Verdes del Escudo de Guayana en Venezuela;** Revisión Estratigráfica; III Simposio Internacional del Oro en Venezuela; libro de Memorias Asociación Venezolana del Oro. p. 123-139

Parasnis, D. (1979) **Geofísica Minera** Ed. Paraninfo. 376 p.

Ratmiroff, G., (1965) **Origen y metamorfismo del paragneis principal del Complejo preCámbrico de Imataca.** Cuadrilátero de Upata, Estado Bolívar, Venezuela. Bol. Geol., Caracas. 7(13): 217-329.

Ríos, J. H. (1969) **Geología de la región de Caicara, Estado Bolívar,** IV Cong. Geol. Venez., Caracas, MEM., III: 1759-1782

Rojas, L. (1982) **Aplicación de la Geofísica en la Geología y en la Minería.** Universidad de Oriente, Núcleo Bolívar. Venezuela.

Short, K. (1970). **Guía de la excursión A-2 carretera Ciudad Piar – Ciudad Bolívar, Venezuela.** Mem., VII Congr. Geol. Venezolano, Caracas. 1:59-62.

Short, K. C. y W. F. Steenken, (1962) **A reconnaissance of the Guayana Shield from Guasipati to the Rio Aro, Venezuela.** Asoc. Venez. Geol. Min. y Petról., Bol. Inform., 5(7): 189-221.

Sierra, R. (2001) **Reprocesamiento y Reinterpretación de Datos Aeromagnéticos en el Sur de Puerto Ayacucho, Estado Amazonas.** Trabajo Especial de Grado, Departamento de Geofísica. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Universidad Central de Venezuela, Caracas.

Strangway, D (1970). **History of the Earth's Magnetic Field. Earth and Planetary Science Series**, 168 p.

Vargas, C. (2001) **Estudio Aeromagnético de la Región Central de la Sierra de Perijá, Estado Zulia**. Trabajo Especial de Grado, Departamento de Geofísica. Escuela de Geología, Minas y Geofísica. Universidad Central de Venezuela, Caracas.

Windley, B. F. (1978). **The Evolving Continents**, 385 p.

Wynn, Jeffrey C. & Bond Kevin. (1993). **Simple bouguer gravity anomaly mapa of the Venezuelan Guayana Shield**. Boletín 2062. Caracas. Escala 1:100.000. Mapa gravimétrico.

Wynn J., C. Pennis, P. Cox, F. Gray, y P. G. Schruben (1993) **Geologic and tectonic map of the Venezuelan Guayana** .Boletín 2062. Caracas. Escala 1:100.000. Mapa geológico.

### **Direcciones Electrónicas**

Bertorelli, J. L. **Rocas industriales ígneas y metamórficas** Disponible: <http://www.fundacite.arg.gov.ve/rocas/capitulo04.html>. [Consulta: 2004 Enero 5].

Cataldi, A. **TRX Engineering & Herat Sciences**. Disponible: [http://www.trxconsulting.com/M\\_magnetismo\\_carpeta.htm](http://www.trxconsulting.com/M_magnetismo_carpeta.htm) [Consulta 2004, Febrero 25].

Ministerio de Energía y Minas. Dirección General Sectorial de SERVIGEOMIN. Dirección de Geología. Disponible: <http://www.ingeomin.gov.ve/Geologia%20vzla/sinopsis.htm> 1997 [Consulta 2003 Febrero 25]



## APÉNDICE A

### CALCULO DE LA ANOMALÍA DE BOUGUER

Los datos gravimétricos usados pertenecen a la Red Gravimétrica Nacional, proporcionada por el Departamento de Geofísica de la Universidad Central de Venezuela. Los valores de gravedad observada de cada estación (en miligales) se les aplico ciertas correcciones con el fin de reducirlos a un nivel de referencia común, estas correcciones son:

1. Corrección de altura o Aire Libre; esta toma en cuenta el efecto de la altura de la estación de medida, en la observación gravimétrica, Se calcula como:

- i.  $C_{AL} = 0.3086 * h$  ( mgal/m )

- b. Siendo h la altura de la estación.

2. Corrección de Bouguer; toma en cuenta el efecto de la masa situada entre el nivel de referencia y la estación, se calcula como:

1.  $C_B = 0.04191 * \rho_B * h$  ( mgal)

- b. Siendo h = altura de la estación

1.  $\rho_B$  = densidad de Bouguer.

3. Corrección Topográfica; elimina el efecto que en la medida gravimétrica ejerce la topografía alrededor de la estación.

4. Corrección por Latitud; se realiza con el fin de eliminar el efecto que en la medida gravimétrica tiene el incremento de la gravedad terrestre del ecuador a los polos, debido principalmente a la rotación de la Tierra y a la diferencia de radios ecuatorial y polar en la misma. Se aplica mediante el cálculo de la Gravedad Teórica mediante la expresión:

$$G_T = 978031.846 * ( 1 + 0.005278895 * \text{sen}^2 \theta + 0.00023462 * \text{sen}^4 \theta )$$

Siendo  $\theta$  = la latitud de la estación

Obtenidas todas las correcciones que han sido aplicadas a los datos gravimétricos se obtuvo la Anomalía de Bouguer en cada estación calculada mediante la relación:

$$A_B = G_{\text{obs}} \pm C_{\text{al}} \pm C_B - G_T$$

Cabe destacar que si la corrección de aire libre ( $C_{\text{al}}$ ) es positiva la corrección de Bouguer ( $C_B$ ) será negativa.

Representando gráficamente sobre un plano estos valores y trazando contornos isoanómalos o de igual anomalía, se realizó un Mapa de Anomalías de Bouguer para la densidad  $\rho_B$  (2,65), obteniendo así el resultado primario de un levantamiento gravimétrico.

**APÉNDICE B**  
**CÁLCULO DE LA SUSCEPTIBILIDAD MAGNÉTICA DE LAS MUESTRAS**  
**ADQUIRIDAS DURANTE EL RECONOCIMIENTO GEOLÓGICO DE LA**  
**ZONA**

La susceptibilidad magnética es la capacidad de un cuerpo de adquirir imantación al estar sometido a un campo magnético. La susceptibilidad de una roca que contiene minerales magnéticos es dada por la susceptibilidad magnética del mineral multiplicada por el porcentaje por volumen de material magnético en la roca. Para el cálculo de la misma se realizaron los siguientes pasos:

- Se calculó el peso de un envase cilíndrico
- Se determinó el volumen del envase por medio de la siguiente fórmula:

Diámetro del envase: 1 cm.

Longitud: 2.5 cm.

$$V = \Pi * r^2 * h$$

En donde  $r^2$  = el radio del frasco

$h$  = la longitud del frasco

- Se pulverizaron las muestras y se colocaron dentro de los envases, para luego ser pesadas de nuevo.
- Se introdujo en el susceptibilímetro.
- Se tomaron cinco medidas de voltaje en el susceptibilímetro por cada muestra. Se calculó un promedio y se aplicó la fórmula para el cálculo de susceptibilidad por unidad de volumen. (ver tabla N° b-1).

$$X = k * \frac{\Delta E}{V * E_0}$$

En donde:  $X \rightarrow$  Susceptibilidad por unidad de volumen en c.g.s.

$k \rightarrow$  Constante  $3.5 * 10^2 \text{ cm}^3$

$E \rightarrow$  Voltaje de la parte real eje X en mv.

V → Volumen de la muestra en cm<sup>3</sup>

E → Voltaje alimentador del puente 10.26 V (Rms)

Aplicada la fórmula se determinaron los valores de susceptibilidad en las muestras y listan en la Tabla N°b-1

**Tabla N° b-1 Valores promedios de susceptibilidad magnética de las muestras adquiridas durante el reconocimiento geológico de la zona.**

Muestra	Mediciones (mv)	Promedio en (mv)	Promedio en (v)	Peso Inic (gr)	Peso Final (gr)	Susceptibilidad
M - 1	0,004	0,0016	0,0000016	3,5308	6,2969	1,3796E-05
	0,001					
	0,002					
	0,001					
	0					
M - 2	0,005	0,0052	0,0000052	3,57	7,376	4,4836E-05
	0,008					
	0,006					
	0,005					
M - 3	0,049	0,0474	0,0000474	3,5167	6,86	0,00040869
	0,048					
	0,045					
	0,047					
	0,048					
M - 4	0,012	0,0124	0,0000124	3,5113	6,5751	0,00010692
	0,014					
	0,013					
	0,013					
	0,01					
M - 5	0,006	0,0066	0,0000066	3,52	7,4672	5,6907E-05
	0,008					
	0,006					
	0,007					
	0,006					
M - 6	0,044	0,0452	0,0000452	3,53	7,5	0,00038973
	0,047					
	0,044					
	0,048					
	0,043					

<b>Muestra</b>	<b>Mediciones (mv)</b>	<b>Promedio en (mv)</b>	<b>Promedio en (v)</b>	<b>Peso Inic (gr)</b>	<b>Peso Final (gr)</b>	<b>Susceptibilidad</b>
M - 7	0,004	0,004	0,000004	3,5508	6,377	3,4489E-05
	0,005					
	0,005					
	0,003					
	0,003					
M - 8	0,289	0,2906	0,0002906	3,5216	7,7845	0,00250563
	0,29					
	0,29					
	0,294					
	0,29					
M - 9	0,013	0,012	0,000012	3,5314	8,7761	0,00010347
	0,01					
	0,012					
	0,013					
	0,012					
M - 10	0,01	0,0268	0,0000268	3,6454	7,8122	0,00023108
	0,008					
	0,008					
	0,008					
	0,1					
M - 11	0,004	0,0036	0,0000036	3,6185	5,8974	3,104E-05
	0,003					
	0,004					
	0,004					
	0,003					
M - 12	0,013	0,013	0,000013	3,565	6,5945	0,00011209
	0,013					
	0,012					
	0,013					
	0,014					
M - 13	0,004	0,0032	0,0000032	3,5838	7,47	2,7591E-05
	0,004					
	0,003					
	0,003					
	0,002					
M - 14	0,003	0,0038	0,0000038	3,5785	5,9727	3,2765E-05
	0,004					
	0,003					
	0,005					
	0,004					

<b>Muestra</b>	<b>Mediciones (mv)</b>	<b>Promedio en (mv)</b>	<b>Promedio en (v)</b>	<b>Peso Inic (gr)</b>	<b>Peso Final (gr)</b>	<b>Susceptibilidad</b>
M - 15	0,006	0,0042	0,0000042	3,59	7,4619	3,6213E-05
	0,004					
	0,003					
	0,004					
	0,004					
M - 16	0,005	0,0028	0,0000028	3,64	5,7141	2,4142E-05
	0,001					
	0,002					
	0,003					
	0,003					
M - 17	0,005	0,0036	0,0000036	3,6022	7,29	3,104E-05
	0,003					
	0,002					
	0,004					
	0,004					
M - 18	0,119	0,1198	0,0001198	3,5944	7,06	0,00103295
	0,12					
	0,12					
	0,119					
	0,121					
M - 19	0,003	0,003	0,000003	3,5505	6,6057	2,5867E-05
	0,003					
	0,003					
	0,003					
	0,003					
M - 20	0,002	0,0024	0,0000024	3,482	6,1269	2,0693E-05
	0,001					
	0,004					
	0,003					
	0,002					
M - 21	0,009	0,0074	0,0000074	3,5234	6,6758	6,3805E-05
	0,007					
	0,007					
	0,007					
	0,007					

## APÉNDICE C

### **CÁLCULO DE LA DENSIDAD DE LAS MUESTRAS ADQUIRIDAS DURANTE EL RECONOCIMIENTO GEOLÓGICO DE LA ZONA.**

Densidad es masa de un cuerpo por unidad de volumen. La densidad puede obtenerse de varias formas. Por ejemplo, para objetos macizos de densidad mayor que el agua, se determina primero su masa en una balanza, y después su volumen; éste se puede determinar, sumergiendo en un recipiente calibrando con agua el objeto y viendo la diferencia de altura que alcanza el líquido. La densidad es el resultado de dividir la masa por el volumen.

El procedimiento seguido para el cálculo de la densidad fue el siguiente:

Utilizamos una balanza semi analítica Marca OHAUS Modelo S200 con capacidad de 202x0.01g, que consta de los siguientes accesorios:

- Estufa
- Cilindro graduado
- Bureta
- Vidrio de reloj
- Embudo
- Papel de filtro

- Se procede a realizar el secado de las muestras, para ello se utilizó una estufa por un lapso de 10 horas a 100°C.
- Se pesó cada una de las muestras en la balanza digital colocándolas sobre el vidrio de reloj
- Se pesó el vidrio de reloj.
- Con la diferencia de estos pesos se obtuvo el peso de la muestra.

- Se realiza la calibración del cilindro con la bureta, con el fin de obtener una precisión de dos decimales, para ello fue necesario realizar cada un mililitro de la bureta la medición de este volumen en el cilindro, se realizó este procedimiento hasta los 25 ml; con estos datos se generó la curva de calibración, la pendiente de esta nos indica el factor de corrección.
- El volumen de la muestra se obtiene por la diferencia entre un volumen inicial de agua destilada en el cilindro graduado y el volumen desplazado cuando la muestra es sumergida. El valor obtenido es multiplicado por el factor de corrección para el cilindro.
- En el caso de las muestras que presentan porosidad fue necesario utilizar un embudo y papel absorbente, con el fin de no perder masa de la muestra por disgregación.



**Tabla N°c-1 Valores Promedios de Densidad de las Muestras Tomadas en Campo**

<b>Muestras</b>	<b>Masa (g)</b>	<b>Volumen (ml)</b>	<b>Volumen Corregido</b>	<b>Densidad (g/ml)</b>
M-01	15,92	7,47	7,472321	-
M-02	17,27	5,58	5,593094	3,09
M-03	16,24	5,92	5,931156	2,74
M-04	14,15	6,16	6,169788	2,65
M-05	17,97	5,91	5,921213	3,03
M-06	17,98	7,05	7,054715	2,55
M-07	7,27	3,04	3,067572	2,75
M-08	12,22	3,54	3,564722	3,43
M-09	8,54	2,91	2,938313	2,91
M-10	17,57	6,05	6,060415	2,90
M-11	8,7	6,2	6,20956	-
M-12	7,72	4,05	4,071815	2,80
M-14	6,31	2,75	2,779225	2,27
M-15	12,22	4,04	4,061872	3,01
M-16	26,42	10,41	10,395563	2,70
M-17	10,89	3,96	3,982328	2,90
M-18	9,52	3,05	3,077515	2,7 – 2,65
M-19	16,76	6,06	6,070358	2,76
M-20	14,69	4,41	4,429763	3,32
M-21	14,55	5	5,0164	2,90

## APÉNDICE D

### FUNDAMENTOS MATEMÁTICOS DEL ANÁLISIS ESPECTRAL

Los modelos básicos de señales no periódicas lo constituyen funciones limitadas en el tiempo. Esta limitación temporal puede ser estricta, cuando la función es nula fuera de un intervalo de tiempo determinado, o real, puesto que todas las señales que tienen existencia física son observadas en un periodo finito de tiempo. Para el análisis de señales, lo más normal es realizar transformaciones desde el dominio del tiempo al de la frecuencia, con lo cual se trata de evaluar como se distribuye la energía en función de la frecuencia. La conmutación entre ambos dominios se realiza mediante la transformación de Fourier. Para esto supondremos siempre que la función temporal  $x(t)$  es de cuadrado integrable, o lo que es lo mismo, que tiene una energía finita. Para obtener la transformada consideremos una señal periódica  $x(t)$  de periodo  $P$ , cuyo desarrollo en serie será:

$$x(t) = \sum_n c_n e^{jn\omega t} \quad \text{con } \omega = \frac{2\pi}{P} \quad \text{y} \quad c_n = \frac{1}{P} \int_{-P/2}^{P/2} x(t) e^{-jn\omega t} dt$$

Por tanto puede escribirse:

$$x(t) = \sum_n \left[ \frac{1}{P} \int_{-P/2}^{P/2} x(z) e^{-jn\omega z} dz \right] e^{jn\omega t} \quad \text{como } f_0 = \frac{1}{P} \quad \text{es: } x(t) = \sum_n \left[ \int_{-P/2}^{P/2} x(z) e^{-jn\omega z} dz \right] e^{jn\omega t} f_0$$

Ahora bien, si se hace crecer  $P$  hacia infinito, la función  $x(t)$  quedaría limitada a un solo pulso y además  $f_0$  tendería a cero, pudiéndose interpretar  $f_0 = inc(f)$  'incremento' de modo que el armónico de frecuencia  $nf_0$  se corresponda con la frecuencia  $f$ , lo que permite pasar del espectro discreto al continuo.

$$x(t) = \sum_n \left[ \int_{-P/2}^{P/2} x(z) e^{-jn\omega z} dz \right] e^{j\omega t} \Delta f$$

haciendo ahora el paso al límite es  $\Delta f = df$  y el sumatorio es una integral.

$$x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \left[ \int_{-\infty}^{\infty} x(z) e^{-jn\omega z} dz \right] e^{j\omega t} df$$

Esta relación se conoce como identidad de Fourier.

La transformación de Fourier se define entonces como:

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j\omega t} dt \quad \text{y además admite inversa que es: } x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} X(f) e^{j\omega t} df$$

$X(f)$  es en general una función compleja, es decir:

$$X(f) = |X(f)| e^{j\theta(f)} = R(f) + jI(f)$$

en la que  $R$  representa la parte real e  $I$  la parte imaginaria.

$$\text{Su módulo es: } |X(f)| = [R^2(f) + I^2(f)]^{1/2}$$

$$\text{y su argumento: } \theta(f) = \arctg \frac{I(f)}{R(f)} \text{ define su espectro de fase.}$$

Si consideramos que  $x(t)$  es una función real se tiene que:

$$X(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) [\cos \omega t - j \text{sen } \omega t] dt$$

$$\text{en la que: } R(f) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cos \omega t dt \text{ e } I(f) = - \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \text{sen } \omega t dt$$

Hay dos tipos de señales, las periódicas con potencia media finita y las no periódicas limitadas en el tiempo y con energía finita, o lo que es equivalente, de cuadrado integrable. Sin embargo, existen otras muchas señales no encuadrables en ninguno de los dos tipos definidos. Además, si una señal se descompone en suma de periódicas y no periódicas su representación en el dominio de la frecuencia requiere un espectro discreto para las periódicas y uno continuo para las no periódicas. Para extender la transformación de Fourier a todo tipo de señales, se contemplan también aquellas que tienen potencia finita cuando se promedia sobre todo el tiempo, es decir, las que verifican que:

$$\lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int |x(t)|^2 dt < \infty$$

En efecto, si consideramos una transformada de una función no periódica podemos interpretar:

$$x(t) = \int_{-\infty}^{\infty} X(f) e^{j\omega t} df = \sum_{-\infty}^{\infty} X(f) \Delta f e^{j\omega t}$$

lo cual nos lleva a considerar un desarrollo en serie de Fourier cuyos coeficientes  $c_n = X(f) \Delta f$  son de amplitud infinitesimal, de forma que el espectro estará compuesto por infinitos armónicos de amplitud infinitesimal separados entre sí un infinitésimo.

Desde este punto de vista, un desarrollo en serie de una señal periódica presenta infinitos puntos de discontinuidad que pueden evitarse mediante el paso al límite de la transformada, de esta forma cualquier señal que tenga un espectro discreto puede describirse mediante un espectro continuo.