



IAG



IPGH



NIMA

# SIRGAS

## Relatório Final

Grupos de Trabalho I e II

 **IBGE**

Brasil 1997

Presidente da República  
**Fernando Henrique Cardoso**

Ministro de Estado do Planejamento e Orçamento  
**Antonio Kandir**

## **INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE**

Presidente  
**Simon Schwartzman**

Diretor de Planejamento e Coordenação  
**Nuno Duarte da Costa Bittencourt**

### **ÓRGÃOS TÉCNICOS SETORIAIS**

Diretoria de Pesquisas  
**Lenildo Fernandes Silva**

Diretoria de Geociências  
**Trento Natali Filho**

Diretoria de Informática  
**Fernando Elyas Nóbrega Nasser**

Centro de Documentação e Disseminação de Informações  
**David Wu Tai**

### **UNIDADE RESPONSÁVEL**

Diretoria de Geociências  
Departamento de Geodésia  
**Luiz Paulo Souto Fortes**

MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO E ORÇAMENTO  
INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE  
DIRETORIA DE GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE GEODÉSIA

# **Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul**

## **Relatório Final**

**Grupos de Trabalho I e II**

Rio de Janeiro  
1997

**INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE**

Av. Franklin Roosevelt, 166 - Centro  
20021-120 - Rio de Janeiro, RJ - Brasil

**ISBN**  
**ISBN**

(edição em português/espanhol)  
(edição em inglês)

© IBGE 1997

**Editoração Eletrônica**

Luiz Paulo Souto Fortes  
Departamento de Geodésia - DEGED/DGC

**Elaboração do Projeto Gráfico**

Preparação: Divisão de Documentação  
e Processos Gráficos - DIPRO/DEPIN/DGC

**Impressão**

Centro de Documentação e Disseminação de  
Informações - CDDI/IBGE, em meio digital.

**Capa**

José Augusto Barreiros Sampaio  
Divisão de Documentação e Processos Gráficos  
DIPRO/DEPIN/DGC

Sistema de referência geocêntrico para a América do Sul : relatório final :  
grupos de trabalho I e II / IBGE, Departamento de Geodésia. - Rio  
de Janeiro : IBGE, 1997.

99 p.

ISBN

1. Geodésia. 2. Sistema Referencial Geocêntrico da América do Sul. I.  
IBGE. Departamento de Geodésia.

IBGE.CDDI.Div. de Biblioteca e Acervos Especiais  
RJ/IBGE/97-09

CDU 528.2  
CART

Impresso no Brasil/ Printed in Brazil

## SUMÁRIO

|  |     |
|--|-----|
| LISTA DE FIGURAS .....                                       | v   |
| LISTA DE TABELAS .....                                       | vii |
| 1. INTRODUÇÃO.....   | 1   |
| 1.1- ESTRUTURA DO PROJETO .....                              | 2   |
| 1.2- IDIOMAS.....  | 3   |
| 1.3- COMPOSIÇÃO DO PROJETO.....                              | 4   |
| 1.3.1- COMITÊ.....   | 4   |
| 1.3.2- GRUPO DE TRABALHO I: SISTEMA DE REFERÊNCIA .....      | 6   |
| 1.3.3- GRUPO DE TRABALHO II: DATUM GEOCÊNTRICO .....         | 7   |
| 1.3.4- CONSELHO CIENTÍFICO.....                              | 8   |
| 2. GRUPO DE TRABAJO I: SISTEMA DE REFERENCIA.....            | 9   |
| 2.1- INTRODUCCION .....                                      | 9   |
| 2.2- LA CAMPAÑA GPS DEL PROYECTO SIRGAS .....                | 10  |
| 2.3- PREPARACION Y ORGANIZACION DE LOS DATOS.....            | 16  |
| 2.4- PROCESAMIENTO .....                                     | 21  |
| 2.4.1- PROCESAMIENTO DE LA RED GPS SIRGAS 95 EN EL DGFI..... | 21  |
| 2.4.1.1- RESUMEN .....                                       | 21  |
| 2.4.1.2- INTRODUCCION .....                                  | 21  |
| 2.4.1.3- CONJUNTO DE DATOS UTILIZADOS .....                  | 22  |
| 2.4.1.4- PROCESAMIENTO DE LA RED .....                       | 24  |
| Esbozo de la Estrategia Utilizada .....                      | 24  |
| Pre-procesamiento con el Software BERNESE.....               | 26  |
| Combinación de Ecuaciones Normales .....                     | 31  |
| 2.4.1.5- RESULTADOS .....                                    | 32  |
| Problemas en los Datos.....                                  | 32  |
| Consistencia del Ajuste Diario .....                         | 34  |
| Referencia al ITRF.....                                      | 35  |
| Solución Final.....  | 38  |
| 2.4.1.6- SUMARIO .....                                       | 39  |
| 2.4.1.7- REFERENCIA.....                                     | 40  |

|          |   |    |
|----------|---|----|
| 2.4.2-   | DERIVACION DEL NIMA PARA LAS COORDENADAS DE LAS ESTACIONES DE LA RED DE REFERENCIA CONTINENTAL SIRGAS.....    | 40 |
| 2.4.2.1- | INTRODUCCION .....  | 40 |
| 2.4.2.2- | ACTIVIDADES DE PROCESAMIENTO PRELIMINAR.....  | 40 |
| 2.4.2.3- | COMPUTACIONES Y ANALISIS.....   | 41 |
|          | Posicionamiento de Punto Absoluto GPS .....   | 41 |
|          | Orbitas y Relojes Precisos .....  | 42 |
|          | Compensación del Centro de Fase de Antena (LC).....   | 42 |
|          | Análisis Cualitativo .....  | 43 |
|          | Estaciones Problemáticas y Valores Extraños de Solución .....   | 43 |
| 2.4.2.4- | PARAMETROS DE TRANSFORMACION .....  | 45 |
| 2.4.2.5- | RESULTADOS .....  | 46 |
| 2.4.2.6- | RECOMENDACIONES.....  | 47 |
| 2.4.2.7- | REFERENCIA.....   | 47 |
| 2.5-     | COORDENADAS FINALES DEL MARCO DE REFERENCIA SIRGAS 1995.4 .....   | 54 |
| 2.6-     | USO FUTURO DE LAS COORDENADAS DEL MARCO DE REFERENCIA SIRGAS .....  | 61 |
| 2.6.1-   | INTRODUCCION.....   | 61 |
| 2.6.2-   | VELOCIDADES DE LAS ESTACIONES A PARTIR DE OBSERVACIONES REPETIDAS .....                                       | 61 |
| 2.6.3-   | VELOCIDADES DE LAS ESTACIONES A PARTIR DE MODELOS DE DEFORMACION DE LA CORTEZA .....                          | 62 |
| 2.6.4-   | EL USO DE LAS COORDENADAS SIRGAS COMO MARCO DE REFERENCIA.....  | 63 |
| 2.6.5-   | REFERENCIAS .....   | 65 |
| 3.       | GRUPO DE TRABAJO II: DATUM GEOCENTRICO.....   | 66 |
| 3.1-     | INTRODUCCION .....  | 66 |
| 3.2-     | CONTRIBUCION INDIVIDUAL DE LOS PAISES .....   | 66 |
| 3.2.1-   | ARGENTINA.....  | 66 |
| 3.2.1.1- | INTRODUCCION .....  | 66 |
| 3.2.1.2- | CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS DE ACUERDO A LAS RECOMENDACIONES DE LA REUNION DE SANTIAGO AGOSTO DE 1996 ..... | 67 |
| 3.2.1.3- | MAPA DE LA RED GEODESICA NACIONAL .....   | 67 |
| 3.2.1.4- | DESCRIPCION DE LA INTEGRACION A SIRGAS.....   | 67 |
| 3.2.1.5- | ESTADO DE REALIZACION.....  | 69 |

|          |  |    |
|----------|--|----|
| 3.2.2-   | BOLIVIA.....   | 69 |
| 3.2.2.1- | INTRODUCCION .....   | 69 |
| 3.2.2.2- | CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS .....  | 69 |
| 3.2.2.3- | MAPA DE LA RED GEODESICA NACIONAL.....   | 70 |
| 3.2.2.4- | DESCRIPCION DE LA INTEGRACION A SIRGAS.....  | 70 |
| 3.2.2.5- | ESTADO DE REALIZACION.....   | 70 |
| 3.2.2.6- | PROGRAMACION PARA OBTENCION DE<br>RESULTADOS FINALES .....   | 70 |
| 3.2.3-   | BRASIL.....  | 73 |
| 3.2.3.1- | INTRODUÇÃO .....   | 73 |
| 3.2.3.2- | CUMPRIMENTO DOS OBJETIVOS DE ACORDO<br>COM AS RECOMENDAÇÕES DA REUNIÃO DE<br>SANTIAGO.....                   | 73 |
| 3.2.3.3- | MAPA DA REDE GEODÉSICA BRASILEIRA.....   | 74 |
| 3.2.3.4- | DESCRIÇÃO DA INTEGRAÇÃO DA REDE<br>GEODÉSICA NACIONAL AO SIRGAS .....  | 74 |
| 3.2.3.5- | CRONOGRAMA PARA APRESENTAÇÃO DOS<br>RESULTADOS FINAIS.....   | 75 |
| 3.2.4-   | CHILE .....  | 77 |
| 3.2.4.1- | INTRODUCCION .....   | 77 |
| 3.2.4.2- | CUMPLIMIENTO A LOS OBJETIVOS DEL ACUERDO .....   | 78 |
| 3.2.4.3- | MAPA GENERAL DE LAS REDES GEODESICAS<br>GPS NACIONALES.....  | 78 |
| 3.2.4.4- | DESCRIPCION DE LA INTEGRACION A LA<br>RED SIRGAS .....   | 78 |
| 3.2.4.5- | ESTADO DE REALIZACION.....   | 79 |
| 3.2.5-   | COLOMBIA.....  | 82 |
| 3.2.5.1- | NUEVA RED GEODESICA NACIONAL CON GPS .....   | 82 |
| 3.2.5.2- | NECESIDAD DE UNA NUEVA RED.....  | 82 |
| 3.2.5.3- | REALIZACION DEL PROYECTO .....   | 83 |
| 3.2.6-   | ECUADOR.....   | 85 |
| 3.2.7-   | GUYANA FRANCESA.....   | 86 |
| 3.2.7.1- | INTRODUCCION .....   | 86 |
| 3.2.7.2- | DESCRIPCION DEL DATUM GEOCENTRICO DE<br>GUYANA FRANCESA Y DE SU INTEGRACION<br>A SIRGAS .....                | 86 |
| 3.2.7.3- | CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS DE<br>ACUERDO A LAS RECOMENDACIONES DE<br>LA REUNION DE SANTIAGO DE CHILE..... | 88 |
| 3.2.8-   | GUYANA.....  | 88 |

|  |    |
|--|----|
| 3.2.9- PARAGUAY.....   | 88 |
| 3.2.9.1- INTRODUCCION .....  | 88 |
| 3.2.9.2- CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS DE ACUERDO A LAS<br>RECOMENDACIONES DE LA REUNION DE SANTIAGO<br>- CHILE - AGOSTO/96..... | 88 |
| 3.2.9.3- ESTACIONES DE LA RED PRIMARIA QUE SERAN<br>INTEGRADAS A LA RED SIRGAS.....  | 89 |
| 3.2.9.4- DESCRIPCION DE LA INTEGRACION A SIRGAS.....   | 89 |
| 3.2.9.5- ESTADO DE REALIZACION.....  | 89 |
| 3.2.9.6- PROGRAMACION PARA OBTENCION DE<br>RESULTADOS FINALES .....  | 89 |
| 3.2.10-PERU.....   | 91 |
| 3.2.10.1- INTRODUCCION .....   | 91 |
| 3.2.10.2- CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS .....  | 91 |
| 3.2.10.3- MAPA DE LA RED GEODESICA NACIONAL.....   | 92 |
| 3.2.10.4- DESCRIPCION DE LA INTEGRACION A SIRGAS.....  | 92 |
| 3.2.10.5- ESTADO DE REALIZACION.....   | 94 |
| 3.2.10.6- PROGRAMACION PARA OBTENCION DE<br>RESULTADOS FINALES .....   | 94 |
| 3.2.11-SURINAM .....   | 94 |
| 3.2.12-TRINIDAD Y TOBAGO .....   | 94 |
| 3.2.13-URUGUAY.....  | 95 |
| 3.2.13.1- INTRODUCCION .....   | 95 |
| 3.2.13.2- CUMPLIMIENTOS DE OBJETIVOS ESTABLECIDOS.....   | 95 |
| 3.2.13.3- ESTADÍSTICAS DE LA RED GEODESICA NACIONAL<br>A AJUSTAR.....  | 96 |
| 3.2.14-VENEZUELA .....   | 98 |
| 3.2.14.1- INTRODUCCION .....   | 98 |
| 3.2.14.2- INTEGRACION DE LAS REDES NACIONALES<br>A SIRGAS .....  | 98 |
| 3.2.14.3- MAPA DE LA RED GEODESICA NACIONAL.....   | 98 |
| 3.2.14.4- ESTADO DE LA REALIZACION DE LA RED.....  | 98 |
| 3.2.14.5- FECHA DE OBTENCION DE RESULTADOS FINALES .....   | 99 |

## LISTA DE FIGURAS

|              |   |    |
|--------------|---|----|
| FIGURA 1.1:  | Estrutura organizacional do projeto SIRGAS .....  | 2  |
| FIGURA 2.1:  | Estaciones y tipos de receptores de la campaña GPS SIRGAS 1995.....   | 15 |
| FIGURA 2.2:  | Ubicación de las estaciones ocupadas durante la campaña<br>GPS SIRGAS 95 .....  | 23 |
| FIGURA 2.3:  | Esquema generalizado del procesamiento de datos GPS con el<br>software Bernese .....  | 27 |
| FIGURA 2.4:  | Correcciones (mm) del centro de fase dependiente de la elevación<br>para las antenas GPS utilizadas en SIRGAS, con respecto a la<br>antena DORNE MARGOLIN T (fuente: modelo IGS-01) .....                 | 30 |
| FIGURA 2.5:  | Combinación de ecuaciones normales SIRGAS e información<br>adicional en ACCSOL.....   | 31 |
| FIGURA 2.6:  | Distribución geográfica de las estaciones IGS utilizadas para<br>derivar los parámetros de transformación desde ITRF93 a ITRF94 .....   | 49 |
| FIGURA 2.7:  | Representación gráfica de las diferencias en coordenadas transformadas<br>mediante parámetros de 4 estaciones (x4st, y4st y z4st) y<br>3 estaciones (x3st, y3st y z3st) .....                             | 50 |
| FIGURA 2.8:  | Representación gráfica de las diferencias en coordenadas transformadas<br>mediante parámetros de 5 estaciones (x5st, y5st y z5st) y<br>4 estaciones (x4st, y4st y z4st) .....                             | 51 |
| FIGURA 2.9:  | Representación gráfica de las diferencias en coordenadas transformadas<br>mediante parámetros de 5 estaciones (x5st, y5st y z5st) y<br>3 estaciones (x3st, y3st y z3st) .....                             | 52 |
| FIGURA 2.10: | Representación gráfica de las diferencias en coordenadas transformadas<br>mediante parámetros de 5 estaciones (x57p, y57p y z57p) y<br>los parámetros globales del servicio IERS (xg7p, yg7p y zg7p)..... | 53 |
| FIGURA 2.11: | Placas litosféricas globales y zonas de deformación en los límites<br>(Gordon 1995).....  | 64 |
| FIGURA 3.1:  | Mapa de la red geodésica Argentina .....  | 68 |
| FIGURA 3.2:  | Mapa de la red geodésica de Bolivia (Clase A) .....   | 71 |
| FIGURA 3.3:  | Mapa de la red geodésica de Bolivia (Clase B).....  | 72 |
| FIGURA 3.4:  | Mapa da rede geodésica brasileira.....  | 74 |
| FIGURA 3.5:  | Mapa general de las redes geodésicas GPS nacionales de Chile.....   | 80 |
| FIGURA 3.6:  | Mapa de la nueva red GPS nacional de Colombia .....   | 84 |
| FIGURA 3.7:  | Mapa de las estaciones SIRGAS en Colombia .....   | 85 |
| FIGURA 3.8:  | Mapa de la red GPS de Guyana Francesa.....  | 87 |

|   |    |
|---|----|
| FIGURA 3.9: Mapa de las estaciones de la red primaria que serán integradas a la red SIRGAS.....     | 90 |
| FIGURA 3.10: Mapa la red geodésica nacional de Perú.....  | 93 |
| FIGURA 3.11: Mapa de las estaciones tridimensionales de la rede geodésica nacional de Uruguay ..... | 97 |
| FIGURA 3.12: Mapa de REGVEN, la red GPS Venezolana.....   | 99 |

## LISTA DE TABELAS

|             |  |    |
|-------------|--|----|
| TABLA 2.1:  | Estaciones de la campaña GPS en 1995, instrumentos e instituciones.....  | 13 |
| TABLA 2.2:  | Ocupación de las estaciones, frecuencia de las mediciones, cantidad de datos, alturas promedio de antenas .....  | 17 |
| TABLA 2.3:  | Resumen de los datos observados día a día .....  | 19 |
| TABLA 2.4:  | Estaciones incluidas en el procesamiento GPS SIRGAS del DGFI .....   | 25 |
| TABLA 2.5:  | Excéntricas de diferentes sistemas GPS incluidos en el procesamiento del DGFI .....  | 26 |
| TABLA 2.6:  | Desplazamientos de los centros de fase medios de las antenas (mm) en norte (N), este (E) y altura (H) con respecto a los puntos de referencia (ARP) aplicados a SIRGAS, según la proposición del IGS(modelo IGS-01).....                                 | 29 |
| TABLA 2.7:  | Excentricidades locales entre receptores aplicadas en el ajuste SIRGAS .....   | 33 |
| TABLA 2.8:  | Consistencia de las redes de receptores específicos: diferencias de los RMS en norte (N), este (E) y altura (H) entre ajustes de un solo día y las soluciones de 10 días [mm].....   | 35 |
| TABLA 2.9:  | Coordenadas ITRF 93 y sus desviaciones estándar en la época 1995.4 de las estaciones IGS .....   | 36 |
| TABLA 2.10: | Enlaces locales aplicados del centro de las posiciones ITRF 93 a los puntos de referencia GPS; Fuente: catálogo de las estaciones IGS .....  | 37 |
| TABLA 2.11: | Coordenadas ITRF 94 y sus desviaciones estándar en la época 1995.4 de las estaciones IGS que materializan el marco de referencia para el ajuste SIRGAS.....  | 37 |
| TABLA 2.12: | Discrepancias entre los sub-conjuntos ITRF 93 e ITRF 94 de las estaciones que materializan el marco de referencia para el ajuste SIRGAS; residuales [cm] después de la transformación de similaridad ITRF 93 a ITRF 94 incluyendo y excluyendo OHIG..... | 38 |
| TABLA 2.13: | Parámetros medios de transformación entre órbitas IGS y JPL (IGS-JPL) ....   | 42 |
| TABLA 2.14: | Compensaciones LC de antena (IGS Junio de 1996).....   | 43 |
| TABLA 2.15: | Residuos diarios (cm) para la estación CACHOEIRA .....   | 44 |
| TABLA 2.16: | Residuos diarios (cm) para la estación PRES. PRUDENTE.....   | 44 |
| TABLA 2.17: | Coordenadas ITRF94 de estaciones de control IGS, época 1995.42 .....   | 45 |
| TABLA 2.18: | Parámetros de transformación de JPL/ITRF 93 a ITRF94, época 1995.42, utilizando estaciones IGS AREQ, EISL, FORT, KOUR y SANT .....   | 46 |
| TABLA 2.19: | Parámetros de transformación de ITRF 93 a ITRF94 globales, época 1995.42 .....   | 46 |

|   |    |
|---|----|
| TABLA 2.20: Número de sesiones procesadas por el NIMA para cada estación.....   | 47 |
| TABLA 2.21: Soluciones IGS utilizadas para la transformación SIRGAS a ITRF94.....   | 56 |
| TABLA 2.22: Coordenadas finales SIRGAS (ITRF94, época 1995,4) .....   | 57 |
| TABLA 2.23: Coordenadas finales SIRGAS (coordenadas elipsoidales transformadas a GRS80) .....                             | 59 |
| TABLA 2.24: Vectores de rotación NNR NUVEL-1A para SIRGAS (McCarthy, 1996) ....   | 63 |
| TABELA 3.1: Cronograma para apresentação dos resultados finais da integração da rede geodésica brasileira ao SIRGAS ..... | 76 |
| TABLA 3.2: Estaciones activas fijas (EAF.) de la red geodésica nacional activa de Chile.....                              | 81 |

## CAPÍTULO 1

### INTRODUÇÃO

O Projeto SIRGAS (Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul) foi iniciado na Conferência Internacional para Definição de um Datum Geocêntrico para a América do Sul, ocorrida de 04 a 07 de outubro de 1993, em Assunção, Paraguai, a convite da Associação Internacional de Geodésia - IAG, do Instituto Pan-americano de Geografia e História - IPGH e da Agência Cartográfica do Departamento de Defesa dos EUA - DMA (atualmente, Agência Nacional de Mapas e Imagens - NIMA). Participaram desta conferência representantes de cada uma das entidades patrocinadoras e de quase todos os países sul-americanos.

Os objetivos estabelecidos para o projeto foram os seguintes:

- definir um sistema de referência para a América do Sul;
- estabelecer e manter uma rede de referência; e
- definir e estabelecer um datum geocêntrico.

As metas a serem atingidas foram:

- alcançar os objetivos definidos em 1997, em coincidência com a Assembléia Científica da Associação Internacional de Geodésia, excetuando-se a manutenção, que tem caráter permanente;
- promover e coordenar os trabalhos de cada país sul-americano destinados a lograr os objetivos definidos;
- estabelecer uma rede de pontos de alta precisão com o Sistema de Posicionamento Global (GPS), de acordo com os objetivos da Resolução No 2 da X Reunião de Diretores de Institutos Geográficos Sul-americanos (DIGSA) celebrada em La Paz, Bolívia, em 1993;
- concentrar inicialmente a atenção no Datum Horizontal; e
- facilitar a conexão das redes pré-existentes.

Os participantes da Conferência de Assunção adotaram as seguintes definições para o sistema de referência e o datum geocêntrico para o continente:

- sistema de referência SIRGAS: IERS (International Earth Rotation Service) Terrestrial Reference Frame (ITRF);
- datum geocêntrico: eixos coordenados baseados no sistema de referência SIRGAS e parâmetros do elipsóide "Geodetic Reference System (GRS) of 1980".

As atividades do Projeto SIRGAS têm sido projetadas no sentido da adoção no continente de uma rede de referência de precisão compatível com as técnicas modernas de posicionamento, principalmente as associadas ao sistema GPS. Considerando a proliferação do uso do GPS, referir estes novos levantamentos a uma estrutura geodésica existente, implantada basicamente pela utilização dos métodos clássicos (triangulação, poligonação, trilateração,

etc) e cuja precisão é pelo menos dez vezes pior que a fornecida facilmente com o GPS, implicaria, no mínimo, em desperdício de recursos. Além disto, a multiplicidade de sistemas geodésicos clássicos, adotados pelos países sul-americanos, dificultava em muito a solução de problemas tecnicamente simples, tais como a definição de fronteiras internacionais. A adoção do ITRF como sistema de referência comum garante a homogeneização de resultados internamente ao continente e permite uma integração consistente com as redes dos demais continentes, contribuindo cada vez mais para o desenvolvimento de uma geodésia global.

Este relatório documenta as realizações do projeto e, em particular, as atividades executadas pelos Grupos de Trabalho com vistas ao alcance dos objetivos citados anteriormente.

### 1.1- ESTRUTURA DO PROJETO

A estrutura organizacional do projeto é mostrada na Figura 1.1; os nomes dos membros correspondentes são fornecidos no Item 1.3 deste Capítulo.

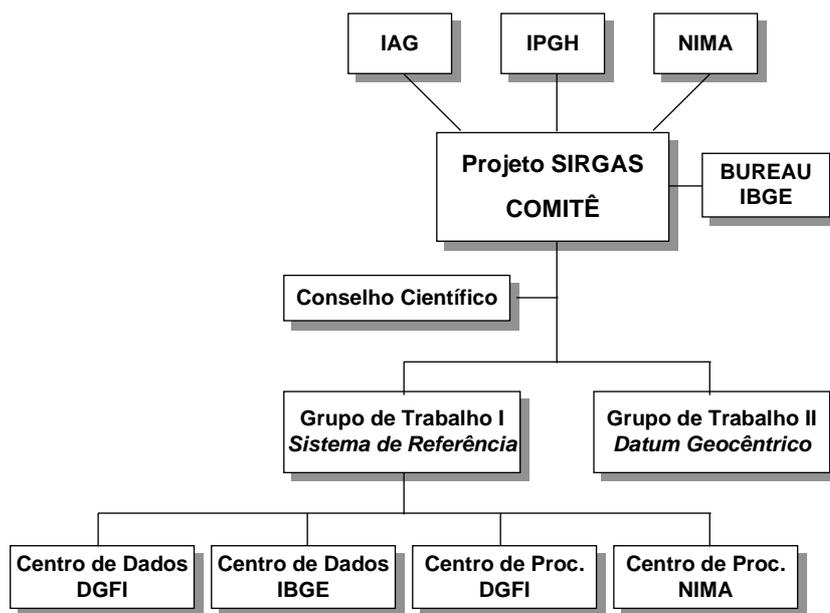


FIGURA 1.1: Estrutura organizacional do projeto SIRGAS

O Comitê do projeto é formado por um representante de cada país do continente e um de cada entidade patrocinadora. O Comitê é responsável pelo estabelecimento das diretrizes do projeto e pela análise dos resultados obtidos pelos Grupos de Trabalho. O Bureau funciona como sede do Comitê, fornecendo suporte ao Presidente no desempenho de suas tarefas. O Conselho Científico é formado por profissionais da comunidade internacional, de destacada atuação em geodésia, tendo por atribuição assessorar o comitê em suas análises e decisões, bem como os grupos de trabalho.

O Grupo de Trabalho I tem sido responsável pelo estabelecimento do sistema de referência. Para este propósito, organizou uma campanha GPS continental, realizada de 26 de maio a 4 de junho de 1995. O processamento dos dados da rede estabelecida durante a campanha foi executado independentemente pelo Deutsches Geodaetisches Forschungsinstitut (DGFI) e pela National Imagery and Mapping Agency (NIMA). Detalhes sobre as atividades do Grupo de Trabalho I podem ser encontrados no Capítulo 2.

O Grupo de Trabalho II tem se encarregado de coordenar a integração das redes geodésicas nacionais de cada país sul-americano à estrutura de referência SIRGAS. Detalhes sobre suas atividades são fornecidos no Capítulo 3.

Os Grupos de Trabalho organizaram as seguintes reuniões, com a finalidade de conduzir suas atividades:

- 20-22 de abril de 1994, Bogotá, Colômbia: primeira reunião do GT II;
- 24-28 de outubro de 1994, La Plata, Argentina: primeira reunião do GT I e segunda do GT II;
- 5-9 de agosto de 1996, Santiago, Chile: segunda reunião do GT I e terceira do GT II;
- 8-11 de abril de 1997, Isla Margarita, Venezuela: terceira reunião do GT I e quarta do GT II.

As coordenadas oficiais de cada estação da Rede de Referência SIRGAS são encontradas no Item 2.5 do Capítulo 2.

O projeto SIRGAS tem sido extremamente bem sucedido. Isto só foi possível devido ao alto nível de cooperação obtido de cada participante, incluindo os países sul-americanos, as entidades patrocinadoras e os consultores científicos, representando mais de 30 instituições das Américas e Europa, todos trabalhando no sentido do desenvolvimento do continente sul-americano.

## **1.2- IDIOMAS**

Este relatório é publicado em duas versões: uma em português/espanhol e outra em inglês.

### 1.3- COMPOSIÇÃO DO PROJETO

A composição do Comitê, Grupos de Trabalho e Conselho Científico é apresentada abaixo.

#### 1.3.1- COMITÊ

**ENG. LUIZ PAULO SOUTO FORTES**

**Presidente**

IBGE/DEGED

AV. BRASIL 15671

PARADA DE LUCAS

RIO DE JANEIRO, RJ, BRASIL, CEP 21241-051

FAX: 55-21-481 2747

e-mail: fortes @ ibge.gov.br

**AGRIM. RUBEN RODRIGUEZ**

**Representante da ARGENTINA**

LUIS M. CAMPOS 1521 - 6B

1426 BUENOS AIRES, ARGENTINA

FAX: 54-1-781 8901

e-mail: rubenro @ arg.siscotel.com

**ENG. EZEQUIEL PALLEJA**

**Representante Substituto da ARGENTINA**

JUNCAL 3699 PISO 10

(1425) BUENOS AIRES, ARGENTINA

FAX: 54-1-383 2935

**CAP. INF. MARCO A. MONTOYA RIVERA**

**Representante da BOLIVIA**

INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR

AVENIDA SAAVEDRA 2303 (ESTADO

MAYOR) MIRAFLORES

CASILLA No. 7641

LA PAZ, BOLIVIA

FAX: 591-2-228329 or 591-2-226912

**SOF. 1RO. JAVIER GUZMAN GALLARDO**

**Representante Substituto da BOLIVIA**

INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR

AVENIDA SAAVEDRA 2303 (ESTADO

MAYOR) MIRAFLORES

CASILLA No. 7641

LA PAZ, BOLIVIA

FAX: 591-2-228329 or 591-2-226912

**ENG. MAURO PEREIRA DE MELLO**

**Representante do BRASIL**

IBGE

AV. FRANKLIN ROOSEVELT 194/GRUPO 207  
CENTRO

RIO DE JANEIRO, RJ, BRASIL, CEP 20021-120

FAX: 55-21-262 7308

**PROF. MILTON DE AZEVEDO CAMPOS**

**Representante Substituto do BRASIL**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ -  
UFPR

CAIXA POSTAL 19098, CURITIBA, PR,

BRASIL, CEP: 81531-970

FAX: 55-41-266 9222

e-mail: miltonac @ cce.ufpr.br

**MAYOR OSCAR CIFUENTES ZAMBRANO**

**Representante do CHILE**

INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR

NUEVA SANTA ISABEL 1640

SANTIAGO, CHILE

FAX: 56-2-6988278

e-mail: igm @ reuna.cl

**MAYOR ENG. RODRIGO BARRIGA  
VARGAS**

**Representante Substituto do CHILE**

INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR

NUEVA SANTA ISABEL 1640

SANTIAGO, CHILE

FAX: 56-2-6988278

e-mail: igm @ reuna.cl

**ENG. ALBERTO GONZALEZ LOPEZ**

**Representante da COLOMBIA**

IGAC

CARRERA 30 NO. 48-51

OFIC 405

SANTAFE DE BOGOTA, DC, COLOMBIA

FAX: 57-1-368 0991

**ENG. SUSANA R. ARCINIEGAS**  
**Representante do ECUADOR**  
INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR  
ELDORADO, EDIFICIO DEL IGM  
QUITO, ECUADOR  
FAX: 593-2-569 097  
e-mail: igm2 @ igm.mil.ec

**DR. CLAUDE BOUCHER**  
**Representante da GUIANA FRANCESA**  
INSTITUTE GEOGRAPHIQUE NATIONAL  
136 BIS RUE DE GRENNELLE  
75700 PARIS, FRANCE  
FAX: 33-1-43 98 84 88  
e-mail: boucher @ ign.fr

**SR. ABHAI KUMAR DATADIN**  
**Representante da GUYANA**  
COMMISSIONER OF LANDS AND SURVEYS  
LANDS AND SURVEYS DEPARTMENT  
22 UPPER HADFIELD STREET  
DURBAN BACKLANDS  
GEORGETOWN, GUYANA

**CAP. SEV. GEOG. JUAN CARLOS TORALES**  
**Representante do PARAGUAY**  
DISERGEMIL  
ARTIGAS 920  
ASUNCION, PARAGUAY  
FAX: 595-21-213 812

**CAP.ENG. JUAN MUÑOZ CURTO**  
**Representante do PERU**  
INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL  
AV. ARUMBURU 1198, SURQUILLO  
LIMA, PERU  
FAX: 51-14-753075

**SR. R.H. WONG FONG SANG**  
**Correspondente do SURINAME**  
CENTRAAL BUREAU LUCHTKAARTERING  
MAYSTRAAT 39  
PARAMARIBO, SURINAME

**PROF. ENG. AGRIM. ROBERTO PEREZ RODINO**  
**Representante do URUGUAY**  
INSTITUTO DE AGRIMENSURA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA  
AV. J. HERRERA Y REISSIG 565, CASILLA DE  
CORREO 30  
MONTEVIDEO, URUGUAY  
FAX: 598-2-715446  
e-mail: rodino @ fing.edu.uy

**ENG. JOSE NAPOLEON HERNANDEZ**  
**Representante da VENEZUELA**  
CARTOGRAFIA NACIONAL  
COORDINACION GEODESICA  
EDIF CAMEJO - ESQUINA CAMEJO CSB  
PISO 2 - OFIC 216  
CARACAS, VENEZUELA  
FAX: 58-2-5450374  
e-mail: sagecan @ conicit.ve

**TTE. JOSE GONZALEZ BRICEÑO**  
**Representante Substituto da VENEZUELA**  
DIGECAFA - MIN. DEFENSA  
FUERTE TIUNA - EL VALLE  
CARACAS, VENEZUELA  
FAX: 58-2-68 23405

**DR. ENG. HERMANN DREWES**  
**Representante da IAG**  
DGFJ, ABT. I  
MARSTALLPLATZ 8  
D-80539  
MUENCHEN, GERMANY  
FAX: 49-89-23031 240  
e-mail: mailer @ dgfi.badw-muenchen.de

**TTE. CRNEL. FERNANDO MIGUEL GALBAN**  
**Representante do IPGH**  
INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR  
CABILDO 381  
1426 BUENOS AIRES, ARGENTINA  
FAX: 54-1-776 1611  
e-mail: fernando @ mapas.igm.gov.ar

**MR. JAMES A. SLATER**  
**Representante do NIMA**  
NATIONAL IMAGERY AND MAPPING  
AGENCY  
MAIL STOP A-12  
8613 LEE HIGHWAY  
FAIRFAX, VA 22031-2137, USA  
FAX: 1-301-227 5515  
e-mail: slaterj @ nima.mil

### **1.3.2- GRUPO DE TRABALHO I: SISTEMA DE REFERÊNCIA**

**DR. MELVIN JESUS HOYER ROMERO**

**Presidente**

CONSEJO NACIONAL DE CARTOGRAFIA  
UNIVERSIDAD DEL ZULIA  
APARTADO POSTAL 10311  
MARACAIBO, VENEZUELA  
FAX: 58-61-512197  
e-mail: mhoyer @ europa.ica.luz.ve

**MY. ENG.MIL. D. RICARDO ANTONIO TORCHETTI**

**Membro Principal**

INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR  
CABILDO 381  
1426 BUENOS AIRES, ARGENTINA  
FAX: 54-1-771 0498  
e-mail: public @ mapas.igm.gov.ar

**ENG. KATIA DUARTE PEREIRA**

**Membro Principal**

IBGE/DEGED  
AV. BRASIL 15671  
PARADA LUCAS  
RIO DE JANEIRO, RJ, BRAZIL, CEP 21241-051  
FAX: 55-21-481 2747  
e-mail: katiaduarte @ ibge.gov.br

**PROF. MILTON DE AZEVEDO CAMPOS**

**Membro Suplente**

UFPR  
CAIXA POSTAL 19098, CURITIBA, PR,  
BRAZIL, CEP: 81531-970  
FAX: 55-41-266 9222  
e-mail: miltonac @ cce.ufpr.br

**CAP. RODRIGO MATURANA NADAL**

**Membro Principal**

INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR  
NUEVA SANTA ISABEL 1640  
SANTIAGO, CHILE  
FAX: 56-2-6988278  
e-mail: igm @ reuna.cl

**ENG. SUSANA R. ARCINIEGAS**

**Membro Principal**

INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR  
ELDORADO, EDIFICIO DEL IGM  
QUITO, ECUADOR  
FAX: 593-2-569 097  
e-mail: igm2 @ igm.mil.ec

**SR. HERVE FAGARD**

**Membro Principal**

INSTITUTE GEOGRAPHIQUE NATIONAL  
SGN  
BP 68  
94160 SAINT MANDE, FRANCE  
FAX: 33-1-43 988450  
e-mail: herve.fagard @ ign.fr

**DR. ENG. HERMANN DREWES**

**Consultor Científico**

DGFI, ABT. I  
MARSTALLPLATZ 8  
D-80539  
MUENCHEN, GERMANY  
FAX: 49-89-23031 240  
e-mail: mailer @ dgfi.badw-muenchen.de

**PROF. DR. GUNTER SEEBER**

**Consultor Científico**

INSTITUT FÜR ERDMESSUNG  
UNIVERSITY OF HANNOVER  
SCHNEIDERBERG 50  
D-30167 HANNOVER, GERMANY  
FAX: 49-511-762 4006  
e-mail: seeber @ mbox.ife.uni-hannover.de

**DR. MUNEENDRA KUMAR**

**Consultor Científico**

NATIONAL IMAGERY AND MAPPING  
AGENCY  
MAIL STOP: A -20  
8613 LEE HIGHWAY  
FAIRFAX, VA 22031,USA  
FAX: 1-703-275 5495  
e-mail: kumarm @ nima.mil

### 1.3.3- GRUPO DE TRABALHO II: DATUM GEOCÊNTRICO

**MAYOR RODRIGO BARRIGA VARGAS**

**Presidente (1996-1997)**

INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR  
NUEVA SANTA ISABEL 1640  
SANTIAGO, CHILE  
FAX: 56-2-6988278  
e-mail: igm @ reuna.cl

**ENG. SUSANA R. ARCINIEGAS**

**Membro Principal**

INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR  
ELDORADO, EDIFICIO DEL IGM  
QUITO, ECUADOR  
FAX: 593-2-569 097  
e-mail: igm2 @ igm.mil.ec

**MAYOR WALTER HUMBERTO SUBIZA  
PIÑA**

**Presidente (1993-1995)**

SERVICIO GEOGRAFICO MILITAR  
8 DE OCTUBRE 3255  
MONTEVIDEO 11600, URUGUAY  
FAX: 598-2-470 868  
e-mail: geografi @ seciu.uy

**ENG. FABIAN SANTAMARIA**

**Membro Suplente**

INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR  
ELDORADO, EDIFICIO DEL IGM  
QUITO, ECUADOR  
FAX: 593-2-569 097

**CAP. LORENZO A. CENTURION**

**Vice-presidente**

DISERGEMIL  
ARTIGAS 920  
ASUNCION, PARAGUAY  
FAX: 595-21-213 812

**ENG. JOSE NAPOLEON HERNANDEZ**

**Membro Principal**

CARTOGRAFIA NACIONAL  
COORDINACION GEODESICA  
EDIF CAMEJO - ESQUINA CAMEJO CSB  
PISO 2 - OFIC 216  
CARACAS, VENEZUELA  
FAX: 58-2-5450374  
e-mail: sagecan @ conicit.ve

**MY. ENG.MIL. HUGO RUBEN BERTOLA**

**Membro Principal**

INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR  
CABILDO 381  
1426 BUENOS AIRES, ARGENTINA  
FAX: 54-1-776 1611

**TTE. JOSE GONZALEZ BRICEÑO**

**Membro Suplente**

DIGECAFA - MIN. DEFENSA  
FUERTE TIUNA - EL VALLE  
CARACAS, VENEZUELA  
FAX: 58-2-68 23405

**ENG. SONIA MARIA ALVES COSTA**

**Membro Principal**

IBGE/DEGED  
AV. BRASIL 15671  
PARADA LUCAS  
RIO DE JANEIRO, RJ, BRAZIL, CEP 21241-051  
FAX: 55-21-481 2747  
e-mail: sonia @ deged.ibge.gov.br

**SR. DON BEATTIE**

**Consultor Científico**

GEODETTIC SURVEY OF CANADA  
615 BOOTH ST.  
OTTAWA, ONTARIO  
K1A 0E9 CANADA  
FAX: 1-613-995 3215  
e-mail: beattie @ geod.emr.ca

**PROF. EDVALDO FONSECA JUNIOR**

**Membro Suplente**

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
EPUSP - PTR  
CAIXA POSTAL 61548  
CEP 05424-970 CIDADE UNIVERSITÁRIA  
SÃO PAULO, BRAZIL  
FAX: 55-11-818 5716  
e-mail: edvaldoj @ usp.br

**DR. ENG. HERMANN DREWES**

**Consultor Científico**

DGFI, ABT. I  
MARSTALLPLATZ 8  
D-80539  
MUENCHEN, GERMANY  
FAX: 49-89-23031 240  
e-mail: mailer @ dgfi.badw-muenchen.de

**DR. MUNEENDRA KUMAR**  
**Consultor Científico**  
NATIONAL IMAGERY AND MAPPING  
AGENCY  
MAIL STOP: A -20  
8613 LEE HIGHWAY  
FAIRFAX, VA 22031,USA  
FAX: 1-703-275 5495  
e-mail: kumarm @ nima.mil

### **1.3.4- CONSELHO CIENTÍFICO**

Consultores científicos que assessoram o Comitê.

**PROF. DR. CAMIL GEMAEI**  
RUA JESUÍNO LOPES, 305  
SEMINÁRIO, CURITIBA, PR, BRAZIL  
CEP: 80310-610

**DR. KNUD PODER**  
GEODETIC DIVISION, KMS  
RENTEMESTERVEJ 8  
DK - 2400 COPENHAGEN, NV  
DENMARK  
FAX: 45-35-87 5052  
e-mail: kp @ kms.dk

**DR. IVAN MUELLER**  
4361 SHIRE CREEK COURT  
HILLIARD, OHIO, 43026  
USA  
FAX: 1-614-292 2957  
e-mail: mueller @ mps.ohio-state.edu

**PROF. DR. HEINZ G. HENNEBERG**  
ESCUELA DE GEODESIA, FACULTAD DE  
INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DEL ZULIA  
APARTADO POSTAL 6  
MARACAIBO, VENEZUELA  
FAX: 58-61-516225  
58-61-517252  
e-mail: henneber @ europa.ica.luz.ve

**DR. GALO CARRERA**  
GEOMETRIX  
GEODETIC AND HYDROGRAPHIC  
RESEARCH INC.  
53 HAWTHORNE STREET  
DARTMOUTH, NOVA SCOTIA  
CANADA B2Y 2Y7  
FAX: 1-902-466 3678  
e-mail: gcarrera @ fox.nstn.ns.ca

## **CAPITULO 2**

### **GRUPO DE TRABAJO I: SISTEMA DE REFERENCIA**

#### **2.1- INTRODUCCION**

La definición del sistema geodésico de referencia para América del Sur y el establecimiento y mantenimiento del marco de referencia son los objetivos fundamentales del Grupo de Trabajo I del Proyecto SIRGAS.

Al efecto, en la primera reunión del proyecto en Asunción, Paraguay, se acordó que el sistema de referencia para el subcontinente debía coincidir con el definido por el IERS -International Earth Rotation Service- y que el marco de referencia debía materializarse mediante la medición de una red de estaciones GPS de alta precisión.

El Grupo de Trabajo I se conformó inicialmente con la designación de un presidente, representantes de tres países y tres asesores científicos, posteriormente se adicionaron otros dos miembros en representación de igual número de países, para un total de cinco.

El Grupo efectuó tres reuniones: La Plata, Argentina en 1994, Santiago de Chile en 1996 y Margarita, Venezuela en 1997.

Previamente a la primera reunión se había planificado y publicado el cronograma de actividades y reuniones a cumplir.

En la reunión de La Plata se definieron los criterios para la selección definitiva de las estaciones a ser medidas e instrumentos a ser utilizados en cada una de ellas, se discutió acerca de las especificaciones técnicas y el proceso de recolección y organización de los datos. Adicionalmente se fijó la fecha para la ejecución de las mediciones.

Tal como estaba previsto, la campaña de mediciones se efectuó durante los diez días siguientes al 26 de mayo de 1995, ocupándose un total de 58 estaciones.

Luego del proceso de recolección y organización de los datos observados, efectuado principalmente en el DGFI-I en Munich, esta institución, el IBGE y el NIMA comenzaron el proceso de cálculo.

En la reunión de Santiago se conocieron y discutieron los resultados preliminares del procesamiento efectuado hasta esa fecha por estos tres centros, tomándose decisiones importantes con respecto a los cálculos pendientes por efectuar .

Finalmente en Margarita el DGFI y el NIMA presentaron sus resultados definitivos y se acordó el procedimiento para obtener una solución única.

Este capítulo correspondiente a las actividades y resultados del Grupo de Trabajo I en el presente reporte final del proyecto SIRGAS, comprende adicionalmente a esta introducción, los aspectos mas importantes de la campana de mediciones GPS, la preparación y

organización de los datos provenientes de las mediciones, detalles sobre el procesamiento y finalmente, la presentación de resultados definitivos.

Las actividades mas importantes ejecutadas por el Grupo de Trabajo I pueden resumirse así:

- recolección de la información necesaria en cada país;
- selección de las estaciones a ser medidas en la red GPS;
- formulación de las especificaciones técnicas para las mediciones de la campaña;
- planificación y organización de la campaña de mediciones GPS;
- planificación de la fase de recolección y procesamiento de las mediciones;
- organización de la evaluación y selección definitiva de resultados.

La evaluación de estas actividades y la calidad de las coordenadas de las estaciones medidas, permite concluir que el Grupo de Trabajo cumplió a cabalidad con los objetivos planteados. América del Sur dispone hoy en día de una de las redes continentales mas precisas del mundo, la cual servirá de base para el establecimiento del datum geocéntrico. La tarea inmediata es darle el mantenimiento adecuado.

## **2.2- LA CAMPAÑA GPS DEL PROYECTO SIRGAS**

La idea de medir una red continental de estaciones GPS y la planificación de su configuración, nació desde el mismo inicio del proyecto SIRGAS en la reunión de Asunción, Paraguay, en Octubre de 1993.

El criterio inicial asumido para seleccionar las estaciones fue el de incluir en la red todos los lugares de observación LASER, VLBI, DORIS y GPS existentes en Sudamérica. Adicionalmente lograr una cobertura continental homogénea, así como garantizar el fácil acceso a las estaciones y la posibilidad de realizar las mediciones GPS. Finalmente se trató que hubiese algunas coincidencias con la red geodésica oficial de cada país.

Inicialmente se seleccionaron 48 estaciones, requiriendo de cada país información detallada acerca de los lugares de observación. Se recomendó la monumentación de las marcas principales y de las referencias de tal manera que se garantizara la permanencia de las mismas.

Al efecto, fue necesario un arduo trabajo para recolectar y organizar la información requerida y proporcionada por cada país. Esto incluyó la ubicación de las estaciones y sus descripciones, instrumentos disponibles en el país y problemas previstos.

El Grupo de Trabajo I del proyecto SIRGAS, con la valiosa colaboración de sus asesores científicos, formuló las especificaciones técnicas necesarias para las mediciones GPS de la campaña. Estas fueron elaboradas tomando en cuenta todos aquellos aspectos que de acuerdo a la opinión de los especialistas, debían ser incluidos en un proyecto de esta naturaleza, tales como:

- I. Preparación de los equipos
- II. Programa de observación
- III. Parámetros de seguimiento
- IV. Identificación de las estaciones
- V. Precauciones especiales
- VI. Anotaciones

Además se preparó un formato para coleccionar la información necesaria de cada estación, de manera de obtener descripciones homogéneas de los lugares observados. Igualmente se prepararon instrucciones para el manejo de los datos.

La selección preliminar de las estaciones, realizada por cada país suramericano y con la aprobación del Grupo de Trabajo I, permitió configurar una red de 52 estaciones.

Antes de las observaciones, se efectuaron discusiones y se tomaron decisiones con respecto a la compatibilidad y disponibilidad de equipos a ser utilizados. La idea fue garantizar homogeneidad en la generación tecnológica de los instrumentos e incluir tantos receptores como fuese posible de los países del área. Por otro lado, solo debían utilizarse receptores muy precisos. Al efecto se seleccionaron cuatro tipos de instrumentos : Ashtech Z12, Leica 200, Rogue/Turbo Rogue y Trimble SSE. Esta selección incluyó los receptores que operan en la región como parte de la red global IGS.

Debido a que en las instituciones suramericanas no existía la disponibilidad de suficientes receptores GPS de los tipos seleccionados, fue necesaria la colaboración en este sentido de instituciones europeas y del DMA (hoy NIMA). La distribución de los equipos en los diferentes lugares de observación puede apreciarse en la Figura 2.1. La lista completa de receptores e instituciones responsables para cada estación se presenta en la Tabla 2.1.

Una diferencia importante entre los receptores para efectos del posicionamiento preciso, es la ubicación relativa de los centros de fase de la antena, los cuales deben ser conocidos durante el procesamiento de los datos con la finalidad de reducir las coordenadas de la estación a la marca del monumento. Si solo se utiliza un tipo de receptor y de antena en la campaña, la posición relativa de los centros de fase es idéntica en todas las estaciones y se cancela en el posicionamiento relativo (con respecto a la estación de referencia o en la diferencia de coordenadas). Si se utilizan diferentes tipos de receptores, la variación de los centros de fase entre sus antenas, tiene que ser corregida, es decir las correcciones del centro de fase tienen que conocerse para cada tipo de antena.

Dado que las correcciones a los centros de fase de las antenas de los receptores empleados no eran conocidas bajo criterios aceptados internacionalmente (actualmente se dispone de las recomendaciones del IGS), se decidió colocar diferentes tipos de los receptores seleccionados en varios lugares y determinar sus distancias tridimensionales exactas por medio de mediciones locales de enlace. Por esta razón, nueve estaciones se ocuparon con dos o tres receptores de diferentes marcas. Los lugares correspondientes se señalan en la Tabla 2.1.

Adicionalmente a esto, se organizó el manejo de los datos de observación. Se seleccionó un centro de datos en cada país y dos centros globales para coleccionar las observaciones de todos los países.

Las observaciones se realizaron, tal como estaba previsto, del 26 de mayo a las 0:00 horas de TU hasta el 4 de Junio a las 24:00 horas de TU en 1995, esto significa un total de 10 días. Finalmente se observaron 58 estaciones principales y 9 excéntricas en 11 países:

| <b>PAIS</b>          | <b>NO. DE ESTACIONES</b> |
|----------------------|--------------------------|
| Argentina .....      | 10                       |
| Bolivia .....        | 6                        |
| Brasil.....          | 11                       |
| Chile .....          | 8                        |
| Colombia .....       | 5                        |
| Ecuador.....         | 3                        |
| Guyana Francesa..... | 1                        |
| Paraguay .....       | 2                        |
| Perú.....            | 4                        |
| Uruguay .....        | 3                        |
| Venezuela .....      | 5                        |
| <hr/>                |                          |
| Total.....           | 58                       |

Muy pocas estaciones tuvieron algunos problemas durante las observaciones. Por lo tanto puede decirse que la campaña fue un éxito total, en cuanto a la organización y a las mediciones.

TABLA 2.1: Estaciones de la campaña GPS en 1995, instrumentos e instituciones

| Estación         | Lat.[°] | Long.[°] | Receptor(es)     | Instituciones                              |
|------------------|---------|----------|------------------|--|
| <u>ANTARTIDA</u> |         |          |                  |  |
| O'HIGGINS        | -63.32  | -57.90   | Rogue            | IGS  |
| <u>ARGENTINA</u> |         |          |                  |  |
| SALTA            | -24.73  | -65.41   | Trimble          | Univ. Tucuman / GFZ                        |
| PUERTO IGUAZU    | -25.61  | -54.56   | Ashtech + Leica  | IGM Argentina / DGFI                       |
| VILLA ROBLES     | -27.91  | -64.12   | Ashtech          | Univ. Tucuman                              |
| CRICYT           | -32.89  | -68.88   | Trimble          | UAGG Mendoza                               |
| MORRO            | -33.27  | -65.48   | Ashtech          | UAGG Mendoza                               |
| LA PLATA         | -34.91  | -57.93   | Rogue            | Obs. La Plata / GFZ                        |
| LOTE 24          | -38.13  | -66.09   | Ashtech          | UAGG Mendoza                               |
| EL MAITEN        | -42.01  | -71.20   | Leica + Trimble  | Catastro Rio Negro<br>DGFI / Univ. Dresden |
| LOTE 10B         | -46.04  | -68.47   | Trimble          | DGFI                                       |
| RIO GRANDE       | -53.79  | -67.75   | Rogue<br>+ Leica | Obs. La Plata / GFZ /<br>DGFI              |
| <u>BOLIVIA</u>   |         |          |                  |  |
| RIBERALTA        | -11.01  | -66.07   | Trimble          | IGM Bolivia                                |
| CLARA            | -15.82  | -63.19   | Trimble          | IGM Bolivia                                |
| HUICHURAYA       | -17.04  | -68.48   | Trimble          | IGM Bolivia                                |
| SJ DE CHIQUITOS  | -17.87  | -60.77   | Trimble          | IGM Bolivia                                |
| CAMIRI           | -20.05  | -63.56   | Trimble          | IGM Bolivia                                |
| OLLAGUE          | -21.35  | -68.04   | Trimble          | IGM Bolivia                                |
| <u>BRASIL</u>    |         |          |                  |  |
| MANAUS           | -03.12  | -60.06   | Ashtech          | IBGE                                       |
| FORTALEZA        | -03.88  | -38.43   | Rogue            | IGS(CRAAE/INPE/NOAA)                       |
| IMPERATRIZ       | -05.49  | -47.50   | Ashtech          | IBGE / IfE Hannover                        |
| BOM JESUS LAPA   | -13.26  | -43.42   | Ashtech          | IBGE                                       |
| CUIABA           | -15.56  | -56.07   | Ashtech          | IBGE / IfE Hannover                        |
| BRASILIA         | -15.95  | -47.88   | Rogue            | IGS (IBGE / JPL)                           |
| VIÇOSA           | -20.76  | -42.87   | Ashtech          | IBGE / UFV                                 |
| PRES. PRUDENTE   | -22.12  | -51.41   | Trimble          | IBGE / UNESP / EPUSP                       |
| CACHOEIRA        | -22.69  | -44.98   | Trimble          | IBGE                                       |
| RIO DE JANEIRO   | -22.82  | -43.31   | Ashtech          | IBGE                                       |
| CURITIBA         | -25.45  | -49.23   | Trimble+Ashtech  | UFPR / IfE Hannover                        |
| <u>CHILE</u>     |         |          |                  |  |
| ANTOFAGASTA      | -23.70  | -70.42   | Rogue            | IGM Chile / GFZ                            |
| CHAMONATE        | -27.30  | -70.41   | Ashtech          | IGM Chile                                  |
| ISLA DE PASCUA   | -27.15  | -109.38  | Rogue            | IGS  |
| SANTIAGO         | -33.15  | -70.67   | Rogue            | IGS  |
| CARRIEL SUR      | -36.78  | -73.06   | Ashtech          | IGM Chile                                  |
| BALMACEDA        | -45.91  | -71.69   | Ashtech          | IGM Chile                                  |

CARLOS IBANEZ -53.00 -70.85 Ashtech IGM Chile

TABLA 2.1 (continuación)

| Estación               | Lat.[°] | Long.[°] | Receptor(es)    | Instituciones           |
|------------------------|---------|----------|-----------------|-------------------------|
| <u>COLOMBIA</u>        |         |          |                 |                         |
| CARTAGENA              | +10.39  | -75.53   | Leica           | Agustin Codazzi         |
| BOGOTA                 | +04.64  | -74.08   | Rogue + Leica   | IGS / Agustin Codazzi   |
| PUERTO INIRIDA         | +03.85  | -67.91   | Leica           | Agustin Codazzi         |
| PASTO                  | +01.39  | -77.29   | Leica           | Agustin Codazzi         |
| LETICIA                | -04.20  | -69.94   | Leica           | Agustin Codazzi         |
| <u>ECUADOR</u>         |         |          |                 |                         |
| GALAPAGOS              | -00.46  | -90.26   | Ashtech         | IGM Ecuador / IGN       |
| LATACUNGA              | -00.81  | -78.63   | Ashtech         | IGM Ecuador / IGN       |
| ZAMORA                 | -04.05  | -78.93   | Ashtech         | IGM Ecuador / IGN       |
| <u>GUYANA FRANCESA</u> |         |          |                 |                         |
| KOUROU                 | +05.25  | -52.81   | Rogue           | IGS (ESA)               |
| <u>PARAGUAY</u>        |         |          |                 |                         |
| M. ESTIGARRIBIA        | -22.04  | -60.59   | Ashtech         | DSGM Paraguay / DMA     |
| ASUNCION               | -25.28  | -57.61   | Ashtech         | DSGM Paraguay / DMA     |
| <u>PERU</u>            |         |          |                 |                         |
| IQUITOS                | -03.73  | -73.24   | Leica           | IGN / Univ. FAF FRG     |
| PIURA                  | -05.20  | -80.63   | Leica           | IGN Peru / DGFI         |
| LIMA                   | -12.10  | -77.02   | Leica           | IGN Peru / DGFI /       |
|                        |         |          | + Trimble       | Univ. FAF FRG           |
| AREQUIPA               | -16.47  | -71.49   | Rogue           | IGS / IGN Peru /        |
|                        |         |          | + Leica+Trimble | DGFI / Univ. FAF FRG    |
| <u>URUGUAY</u>         |         |          |                 |                         |
| YACARE                 | -30.60  | -57.42   | Ashtech         | SGM Uruguay /           |
| CERRO VIGIA            | -33.71  | -53.58   | Ashtech         | / Fac. Ingenieria       |
| MONTEVIDEO             | -34.89  | -56.26   | Ashtech + Leica | / Univ. de la República |
| <u>VENEZUELA</u>       |         |          |                 |                         |
| MARACAIBO              | +10.67  | -71.62   | Trimble + Leica | EIG Univ. Zulia / DGFI  |
| JUNQUITO               | +10.46  | -67.09   | Trimble         | DCN                     |
| LA CANOA               | +08.57  | -63.86   | Trimble         | DCN / DIGECAFA / DGFI   |
| AGUA LINDA             | +05.89  | -67.46   | Trimble         | DCN / DIGECAFA / DGFI   |
| KAMA                   | +05.39  | -61.21   | Leica           | DCN / DIGECAFA / DGFI   |

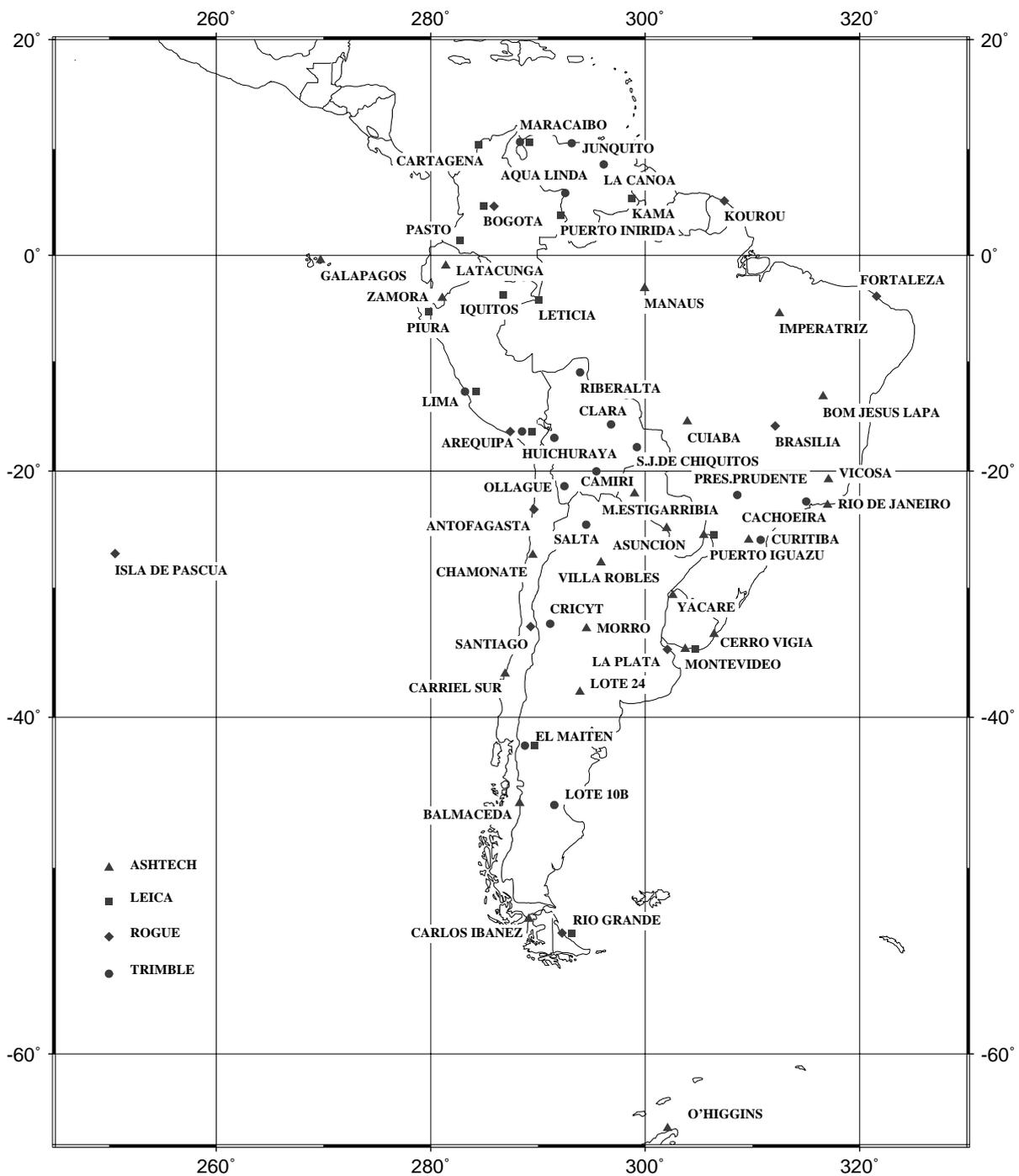


FIGURA 2.1: Estaciones y tipos de receptores de la campaña GPS SIRGAS 1995

## 2.3- PREPARACION Y ORGANIZACION DE LOS DATOS

Todos los datos provenientes de las mediciones GPS se recolectaron y archivaron en dos centros globales de datos : uno en el DGFI en Munich, Alemania y el otro, con una copia idéntica en el IBGE en Río de Janeiro, Brasil. En general los datos fueron transformados al formato RINEX por las instituciones responsables de las estaciones o por los centros de datos nacionales y luego transmitidos por e-mail, ftp o en disquetes a los centros globales. En total se almacenaron aproximadamente 700 archivos con mas de 1.3 Gbytes correspondientes a casi 10 millones de mediciones.

En el centro global de datos se revisaron y controlaron todos los archivos para garantizar que fuesen aceptables. Esto incluyó, particularmente, los siguientes pasos (se mencionan solo aquellos que ocasionaron mayores dificultades):

- Control de la integridad de los archivos de datos recibidos de cada estación, solicitud de los datos no enviados inicialmente;
- Prueba de la compatibilidad general de los encabezamientos de los archivos RINEX con los formatos RINEX 1 o RINEX 2; de ser necesario, se modificaron los encabezamientos apropiadamente;
- Revisión de los nombres de las estaciones y de ser necesario, conversión a las convenciones SIRGAS o IGS;
- Chequeo de errores groseros en las posiciones aproximadas de las estaciones, escritas en los encabezamientos de los formatos RINEX, mediante la comparación de archivos diarios;
- Conversión de los nombres de los receptores y de las antenas al estándar IGS;
- Chequeo de las alturas de las antenas, solicitud a las agencias responsables de la información faltante, reducción de las mediciones inclinadas a la vertical y reducción al punto de referencia de la antena (ARP).

Un resumen de los datos recolectados y de las alturas de las antenas se presenta en la Tabla 2.2. En general se da la altura media sobre la marca (monumento) si las alturas de diferentes días no varían mas de un milímetro del promedio. En caso de discrepancias mayores se presentan varias alturas.

La ocupación día por día de las estaciones se presenta en la Tabla 2.3. Se distingue con signos la cobertura diaria de datos, total (o casi total), media o menos de la mitad. Los datos defectuosos (especialmente falta de la segunda frecuencia) también se señalan.

Todos los datos preparados se almacenaron en archivos y se distribuyeron por ftp a los centros de procesamiento. Estos están disponibles para uso futuro a cualquier interesado. La estructura de los archivos es la siguiente:

|                  |   |
|------------------|---|
|                  | ftp.dgfi.badw-muenchen.de                             |
| o                | ftp.deged.ibge.gov.br                                 |
| user:            | anonymous   |
| password:        | your own e-mail address                               |
| directory:       | pub/gps/sirgas  |
| sub-directories: | addresses    coordinates    data    events    results |

TABLA 2.2: Ocupación de las estaciones, frecuencia de las mediciones, cantidad de datos, alturas promedio de antenas

| Nombre de Estación | Tipo de Receptor | Días Obsv. | Intervalo [sec] | Cantidad [MByte] | Antena H [m] |
|--------------------|------------------|------------|-----------------|------------------|--------------|
| <u>ANTARTIDA</u>   |                  |            |                 |                  |              |
| O'HIGGINS          | Rogue            | 6          | 30              | 11.4             | 0.001        |
| <u>ARGENTINA</u>   |                  |            |                 |                  |              |
| SALTA              | Trimble          | 9.5        | 30              | 14.9             | 0.046        |
| PUERTO IGUAZU      | Ashtech          | 9.5        | 30              | 17.1             | 1.444        |
| PUERTO IGUAZU 2    | Leica            | 9.5        | 15              | 26.9             | 1.554        |
| VILLA ROBLES       | Ashtech          | 9.5        | 30              | 15.4             | 0.848        |
| CRICYT             | Trimble          | 10         | 30              | 10.3             | 1.532        |
| MORRO              | Ashtech          | 9.5        | 30              | 16.1             | 1.365        |
| LA PLATA           | Rogue            | 10         | 30              | 15.6             | 0.046        |
| LOTE 24            | Ashtech          | 9.5        | 30              | 15.3             | 1.172        |
| EL MAITEN 1        | Trimble          | 10         | 15              | 31.3             | 1.005        |
| EL MAITEN 2        | Leica            | 10         | 15              | 24.6             | 1.139        |
| LOTE 10B           | Trimble          | 9          | 15              | 27.1             | 1.326        |
| RIO GRANDE         | Rogue            | 10         | 30              | 19.3             | 0.035        |
| RIO GRANDE 1       | Leica            | 10         | 30              | 15.0             | 0.256        |
| <u>BOLIVIA</u>     |                  |            |                 |                  |              |
| RIBERALTA          | Trimble          | 10         | 30              | 18.3             | 1.436        |
| CLARA              | Trimble          | 10         | 30              | 17.0             | 1.100        |
| HUICHURAYA         | Trimble          | 10         | 30              | 17.6             | 1.417        |
| S.J. DE CHIQUITOS  | Trimble          | 10         | 30              | 17.6             | 1.154        |
| CAMIRI             | Trimble          | 10         | 30              | 17.4             | 1.114        |
| OLLAGUE            | Trimble          | 10         | 30              | 17.3             | 1.040        |
| <u>BRASIL</u>      |                  |            |                 |                  |              |
| MANAUS             | Ashtech          | 9          | 30              | 24.0             | 0.008        |
| FORTALEZA          | Rogue            | 10         | 30              | 19.3             | 0.643        |
| IMPERATRIZ         | Ashtech          | 10         | 30              | 27.0             | 0.078        |
| BOM JESUS LAPA     | Ashtech          | 9          | 30              | 22.4             | 0.008        |
| CUIABA             | Ashtech          | 9          | 30              | 22.3             | 0.074        |
| BRASILIA           | Rogue            | 10         | 30              | 17.7             | 0.007        |
| VIÇOSA             | Ashtech          | 9.5        | 30              | 22.5             | 0.008        |
| PRES. PRUDENTE     | Trimble          | 10         | 30              | 21.6             | 0.009        |
| CACHOEIRA          | Trimble          | 10         | 30              | 21.3             | 0.077/0.052  |
| RIO DE JANEIRO     | Ashtech          | 6.5        | 30              | 13.7             | 0.008        |
| CURITIBA           | Trimble          | 10         | 30              | 17.6             | 0.163        |
| CURITIBA RM3       | Ashtech          | 10         | 30              | 17.3             | 1.246        |
| <u>CHILE</u>       |                  |            |                 |                  |              |
| ANTOFAGASTA        | Rogue            | 10         | 30              | 18.1             | 0.046        |
| CHAMONATE          | Ashtech          | 10         | 30              | 16.4             | 0.000        |
| ISLA DE PASCUA     | Rogue            | 10         | 30              | 16.2             | 0.061        |
| SANTIAGO           | Rogue            | 10         | 30              | 17.8             | 0.093        |
| CARRIEL SUR        | Ashtech          | 10         | 30              | 15.8             | 0.000        |
| BALMACEDA          | Ashtech          | 9          | 30              | 14.9             | 0.000        |
| CARLOS IBANEZ      | Ashtech          | 9.5        | 30              | 15.5             | 0.000        |

TABLA 2.2 (continuación)

| Nombre de Estación     | Tipo de Receptor | Días Obsv. | Intervalo [sec] | Cantidad [MByte] | Antena H [m] |
|------------------------|------------------|------------|-----------------|------------------|--------------|
| <u>COLOMBIA</u>        |                  |            |                 |                  |              |
| CARTAGENA              | Leica            | 10         | 15              | 27.6             | 1.405        |
| BOGOTA                 | Rogue            | 10         | 30              | 18.0             | 0.061        |
| BOGOTA 2               | Leica            | 9          | 15              | 18.2             | 1.413        |
| PTO. INIRIDA           | Leica            | 10         | 15              | 29.1             | 1.382        |
| PASTO                  | Leica            | 10         | 15              | 26.4             | 1.475        |
| LETICIA                | Leica            | 10         | 15              | 29.7             | 1.468/1.450  |
| <u>ECUADOR</u>         |                  |            |                 |                  |              |
| GALAPAGOS              | Ashtech          | 9          | 30              | 16.8             | 1.364        |
| LATACUNGA              | Ashtech          | 10         | 30              | 19.3             | 0.640        |
| ZAMORA                 | Ashtech          | 9          | 30              | 14.7             | 1.190        |
| <u>GUYANA FRANCESA</u> |                  |            |                 |                  |              |
| KOUROU                 | Rogue            | 10         | 30              | 18.9             | 0.132        |
| <u>PARAGUAY</u>        |                  |            |                 |                  |              |
| M. ESTIGARRIBIA        | Ashtech          | 9          | 30              | 23.3             | 1.447        |
| ASUNCION               | Ashtech          | 10         | 30              | 22.1             | 0.766        |
| <u>PERU</u>            |                  |            |                 |                  |              |
| IQUITOS                | Leica            | 5.5        | 15              | 8.7              | 1.671        |
| PIURA                  | Leica            | 4.5        | 30              | 7.2              | 1.683        |
| LIMA                   | Leica            | 9          | 30              | 14.5             | 1.173        |
| LIMA 1                 | Leica            | 10         | 30              | 15.8             | 1.212        |
| LIMA 2                 | Leica/Trimble    | 10         | 30              | 17.8             | 1.314/1.049  |
| AREQUIPA               | Rogue            | 10         | 30              | 17.3             | 0.061        |
| AREQUIPA 1             | Trimble          | 2          | 15              | 4.3              | 1.333        |
| AREQUIPA 2             | Leica            | 2          | 30              | 3.3              | 1.420        |
| <u>URUGUAY</u>         |                  |            |                 |                  |              |
| YACARE                 | Ashtech          | 9          | 30              | 20.3             | 5.076        |
| CERRO VIGIA            | Ashtech          | 10         | 30              | 21.8             | 0.074        |
| MONTEVIDEO             | Ashtech          | 10         | 30              | 24.0             | 0.081        |
| MONTEVIDEO FORT        | Leica            | 4          | 30              | 5.3              | 2.039        |
| <u>VENEZUELA</u>       |                  |            |                 |                  |              |
| MARACAIBO              | Trimble          | 10         | 15              | 34.4             | 0.077        |
| MARACAIBO ASTRO        | Leica            | 10         | 15              | 26.6             | 0.284        |
| JUNQUITO               | Trimble          | 10         | 30              | 15.7             | 1.402        |
| LA CANOA               | Trimble          | 10         | 30              | 26.1             | 1.016        |
| AGUA LINDA             | Trimble          | 9          | 15              | 33.1             | 1.494        |
| KAMA                   | Leica            | 9.5        | 15              | 17.5             | 1.514/1.547  |

TABLA 2.3: Resumen de los datos observados día a día

| Estación           | Id. / Día | 146 | 147 | 148 | 149 | 150 | 151 | 152 | 153 | 154 | 155 |
|--------------------|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| <b>ANTARTIDA</b>   |           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| O'Higgins          | OHIG      |     |     | ■   |     |     | ■   | ■   |     | ■   |     |
| <b>ARGENTINA</b>   |           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Salta              | UNSA      | ▨   |     |     |     |     |     |     |     | ▨   |     |
| Puerto Iguazu      | IGUA      | ▨   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Puerto Iguazu 2    | IGU2      |     |     |     | ▨   |     |     |     |     |     |     |
| Villa Robles       | RBLS      | ▨   |     |     |     |     |     |     |     |     | ▨   |
| Cricyt             | CRIC      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Morro              | MORR      |     |     |     |     |     | ▨   |     |     |     |     |
| La Plata IGS       | LPGS      |     |     |     |     | ▨   |     |     |     |     |     |
| Lote 24            | LOTE      |     |     |     |     | ▨   |     |     |     |     |     |
| El Maiten 1        | MAI1      |     |     |     |     |     |     |     |     |     | ▨   |
| El Maiten 2        | MAI2      |     |     |     |     |     |     |     |     | ▨   | ▨   |
| Lote 10B           | LO10      | ▨   |     |     |     | ▨   |     |     |     |     | ▨   |
| Rio Grande         | RIOG      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Rio Grande 2       | RIO1      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| <b>BOLIVIA</b>     |           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Riberalta          | RIBE      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Clara              | CLAR      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Huichuraya         | HUIC      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| S.J. de Chiquitos  | CHIQ      | ■   | ■   | ■   | ■   | ■   | ■   | ■   | ■   | ■   | ■   |
| Camiri             | CAMI      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Ollague            | OLLA      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| <b>BRASIL</b>      |           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Manaus             | MANA      |     |     |     |     |     |     |     |     |     | ■   |
| Fortaleza IGS      | FORT      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Imperatriz         | IMPZ      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Bom Jesus Lapa     | BOMJ      |     |     | ■   |     |     |     |     |     |     |     |
| Cuiabá             | CUIB      |     |     |     |     |     |     |     |     |     | ■   |
| Brasília IGS       | BRAZ      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Viçosa             | VICO      |     |     |     |     |     |     |     |     |     | ▨   |
| Pres. Prudente     | UEPP      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Cachoeira          | CACH      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Rio de Janeiro     | RIOD      |     | ■   | ■   | ▨   |     |     |     |     | ▨   | ■   |
| Curitiba           | PARA      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Curitiba RM3       | CURI      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| <b>CHILE</b>       |           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Antofagasta        | ANTO      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Chamonate          | CHAM      | ▨   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Isla de Pascua IGS | EISL      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Santiago IGS       | SANT      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Carriel Sur        | CASU      |     |     |     | ▨   |     |     |     |     |     |     |
| Balmaceda          | BLMC      |     | ■   |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Carlos Ibanez      | IBAN      | ▨   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |

| Estación               | Id. / Día | 146 | 147 | 148 | 149 | 150 | 151 | 152 | 153 | 154 | 155 |
|------------------------|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| <b>COLOMBIA</b>        |           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Cartagena              | CART      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Puerto Inirida         | INIR      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Bogota IGS             | BOGT      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Bogota 2               | BOGO      |     | ▨   | ▨   | ▨   |     | ▨   |     |     |     |     |
| Pasto                  | PAST      |     |     |     |     |     |     | ▨   |     |     |     |
| Leticia                | LETI      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| <b>ECUADOR</b>         |           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Galapagos              | GALA      | ▨   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Latacunga              | LATA      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Zamora                 | ZAMO      | ▨   |     |     |     |     |     |     |     |     | ▨   |
| <b>GUYANA FRANCESA</b> |           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Kourou IGS             | KOUR      |     |     |     |     | ▨   |     |     |     |     |     |
| <b>PARAGUAY</b>        |           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| M. Estigarribia        | ESTI      | ▨   |     |     | ▨   |     |     |     |     |     |     |
| Asuncion               | ASUN      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| <b>PERÚ</b>            |           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Arequipa IGS           | AREQ      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Arequipa 1             | ARE1      | ▨   |     | ▨   | ▨   | ▨   | ▨   | ▨   | ▨   | ▨   | ▨   |
| Arequipa 2             | ARE2      |     |     | ▨   | ▨   | ▨   | ▨   | ▨   | ▨   | ▨   | ▨   |
| Lima                   | LIMA      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Lima 1                 | LIM1      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Lima 2                 | LIM2      |     |     |     |     | ▨   |     |     |     |     |     |
| Iquitos                | IQUI      | ▨   | ▨   | ▨   | ▨   | ▨   |     |     |     |     |     |
| Piura                  | PIUR      | ▨   | ▨   | ▨   | ▨   | ▨   |     |     |     | ▨   |     |
| <b>URUGUAY</b>         |           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Cerro Vigia            | VIGI      |     |     | ▨   |     |     |     | ▨   |     |     |     |
| Montevideo             | MONT      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Fortaleza Mont         | FEZA      | ▨   | ▨   | ▨   | ▨   | ▨   | ▨   |     |     |     |     |
| Yacare                 | YACA      | ▨   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| <b>VENEZUELA</b>       |           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Maracaibo              | MARA      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Maracaibo Astro        | MAR1      | ▨   |     | ▨   | ▨   |     |     |     |     | ▨   |     |
| La Canoa               | CANO      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Junquito               | JUNQ      |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
| Agua Linda             | AGUA      |     |     |     |     | ▨   |     |     |     |     |     |
| Kama                   | KAMA      |     |     |     |     |     | ▨   |     |     |     |     |

Leyenda: Disponibilidad de datos

 más de 20<sup>h</sup>  
 12<sup>h</sup>-20<sup>h</sup>  
 6<sup>h</sup>-12<sup>h</sup>

 datos con problemas  
 datos no disponibles

## **2.4- PROCESAMIENTO**

### **2.4.1- PROCESAMIENTO DE LA RED GPS SIRGAS 95 EN EL DGFI**

#### **2.4.1.1- RESUMEN**

El presente informe describe el procesamiento de los datos de la campaña GPS SIRGAS efectuado en el Departamento I del Instituto Alemán de Investigaciones Geodésicas (DGFI/I [Deutsches Geodaetisches Forschungsinstitut, Abt.I]), usando el software de procesamiento GPS Bernese. Se incluyeron en el análisis un total de 67 estaciones de observación en 58 lugares que cubrieron el continente Sudamericano y además algunas áreas circundantes fueron ocupadas por estaciones del Servicio Internacional GPS para Geodinámica (IGS [International GPS Service for Geodynamics]). El primer paso consistió en un ajuste de “red libre” casi sin restricciones, usando las órbitas precisas (combinadas) del IGS. Las coordenadas finales de las estaciones fueron obtenidas por transformación de la “red libre” al Sistema de Referencia Terrestre IERS (ITRF [IERS Terrestrial Reference Frame]), por medio de siete estaciones comunes con la solución ITRF94. El error medio cuadrático está en el nivel subcentimétrico para cada uno de los tres componentes de las coordenadas X, Y, Z.

#### **2.4.1.2- INTRODUCCION**

En 1993 se inició el proyecto para el establecimiento de un sistema de referencia geocéntrico preciso para el continente suramericano, denominado SIRGAS - Sistema de Referencia Geocéntrico para América del Sur -. Una de las metas mas importante de este proyecto es la medición de una red de referencia constituida por 60 estaciones aproximadamente, apropiadamente distribuídas en el continente, mediante la ejecución de una campaña GPS.

El Departamento I del Instituto Alemán de Investigaciones Geodésicas (DGFI/I [Deutsches Geodaetisches Forschungsinstitut, Abt. I]) ha estado vinculado con este proyecto desde el comienzo del mismo, asumiendo los siguientes compromisos para el establecimiento del marco de referencia del proyecto SIRGAS:

- Poner a disposición su propia experiencia, ganada en varios proyectos internacionales, para la planificación de la campaña GPS, dedicando una cantidad considerable de recursos para su ejecución, incluyendo las observaciones GPS en varias estaciones;
- Servir como centro de datos archivando y permitiendo acceso a los datos a la comunidad SIRGAS mediante “anonymous ftp”;
- Actuar como centro de análisis para el proyecto continental GPS con la intención de procesar el conjunto completo de los datos y proveer un ajuste total de la red.

Este reporte se concentra en la última actividad y resume la estrategia aplicada para el procesamiento de la gran cantidad de datos, el software y los modelos utilizados, presentando finalmente los resultados obtenidos. El procesamiento ha sido realizado en el DGFI con alguna ayuda de la Universidad de La Plata, Argentina.

Las siguientes abreviaturas se utilizan frecuentemente en este reporte:

IGS = International GPS Service for Geodynamics

ITRF = IERS (International Earth Rotation Service) Terrestrial Reference Frame

#### **2.4.1.3- CONJUNTO DE DATOS UTILIZADOS**

La campaña GPS SIRGAS se desarrolló del 26 de mayo al 04 de junio de 1995. Las especificaciones formuladas para las mediciones incluyeron las siguientes recomendaciones, de importancia para el procesamiento de la red:

- Cada estación debería operar diariamente desde las 0 hasta las 23 horas de TU, dejando una hora para tareas como cambio de la fuente de energía y descarga de datos;
- Para tomar en cuenta las rápidas variaciones del retraso ionosférico, especialmente las estaciones ubicadas en la parte norte del subcontinente, deberían observar en intervalos de 15 seg. para la captura de datos;
- El ángulo de elevación para las observaciones (cut off angle) debía ser de 10 grados.

La mayoría de las estaciones operaron casi continuamente durante los 10 días en períodos diarios de 23 horas. Puesto que en la campaña se utilizaron diferentes receptores geodésicos de precisión GPS, disponibles en los países del área o suministrados por las instituciones participantes, algunas unidades sufrieron problemas debido a deficiencias en su configuración, creando pequeñas dificultades. Las principales desviaciones con respecto a la planificación fueron:

- Pequeños retrasos en el primer día de la campaña debido a problemas logísticos o problemas en el establecimiento de la infraestructura necesaria para las observaciones continuas;
- La imposibilidad de varios receptores de registrar mediciones cada 15 segundos, especialmente debido a insuficiente capacidad de memoria;
- Interrupciones debido a fallas en el suministro de energía, especialmente en estaciones sin operador permanente por estar ubicadas en lugares remotos;
- Pérdida de datos en muy pocas estaciones durante algunos días de la campaña debido a fallas instrumentales.

La ubicación de todas las estaciones ocupadas durante la campaña SIRGAS se muestra en la Figura 2.2. La Tabla 2.4 presenta una lista con todas las estaciones, su abreviatura y el receptor GPS utilizado. Se excluyeron las mediciones en dos monumentos excéntricos en Arequipa los cuales fueron ocupados durante los dos primeros días solamente con una considerable pérdida de datos. Igualmente la estación S.J. de Chiquitos (CHIQ) en Bolivia, se excluye puesto que el receptor en este lugar casi no registró datos de la frecuencia L2. La

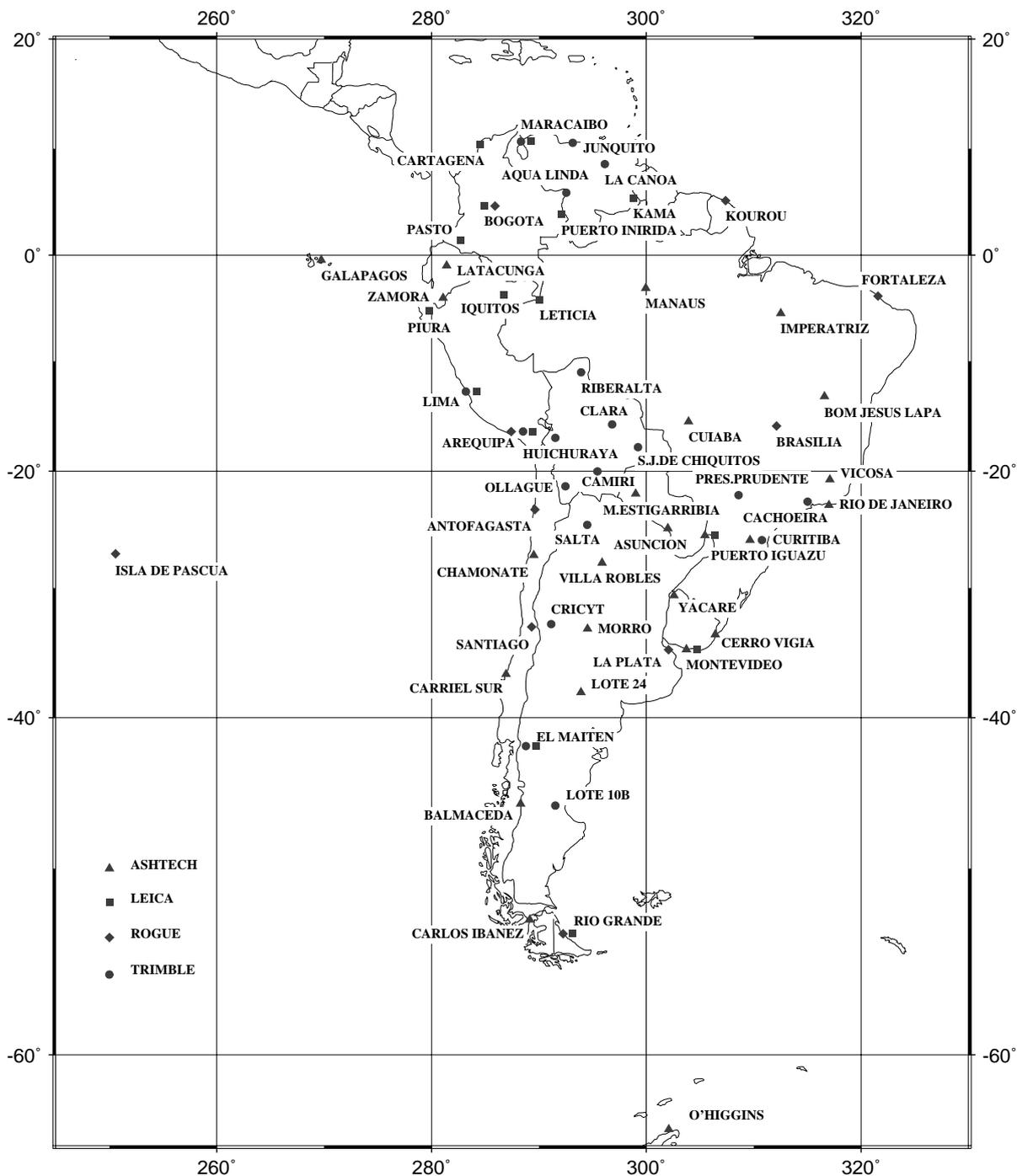


FIGURA 2.2: Ubicación de las estaciones ocupadas durante la campaña GPS SIRGAS 95

abreviatura de cuatro caracteres dada para cada estación es idéntica con los primeros cuatro caracteres del nombre del archivo RINEX disponible en el banco de datos del DGFI. La abreviatura para el receptor en la Tabla 2.4 se refiere a los siguientes sistemas receptor / antena GPS:

ROG = ROGUE o TURBO ROGUE con antena DORNE MARGOLIN B, R o T;  
TRI = TRIMBLE SSE con antena 4000 ST L1/L2 GEOD o TR GEOD L1/L2 GP;  
LEI = LEICA 200 con antena SR 299 INTERNAL;  
ASH = ASHTECH Z XII con antena GEODETIC L1/L2 P :  
    ASH 228 = modelo de antena 700 228;  
    ASH 718 = modelo de antena 700 718, plano grande.

Al comienzo del año 1995 las características del centro de fase de las antenas GPS utilizadas no eran conocidas con precisión para la combinación de diferentes tipos de antenas en diferentes estaciones. Por esta razón en varias estaciones se colocaron excéntricamente diferentes sistemas receptor/antena, permitiendo la combinación de sub-redes de determinados receptores, considerando que la vinculación local se obtendría de mediciones independientes. La Tabla 2.5 presenta las estaciones excéntricas incluidas en el ajuste de la red. La mayoría de las estaciones fueron operadas simultáneamente durante toda la campaña. Tales estaciones se incluyen ,también, en la Tabla 2.4.

#### **2.4.1.4- PROCESAMIENTO DE LA RED**

##### **Esbozo de la Estrategia Utilizada**

Al seleccionar una estrategia general para el procesamiento de la red SIRGAS tuvieron que considerarse las siguientes restricciones:

- El software a ser utilizado, BERNESE, procesa diferencias simples entre las estaciones y requiere la definición de líneas bases;
- El número de mediciones para cada observable básica alcanzaría probablemente un total de  $1.5 \cdot 10^7$ ;
- El número total de parámetros a ser estimados en el ajuste alcanzaría la cantidad de  $2.5 \cdot 10^4$ .

Basándose en estas restricciones, se aplicó un procedimiento de procesamiento distribuido en una solución idéntica con ajuste de un paso. Esta estrategia puede delinearse de la siguiente forma:

- Debido a que para la fecha de la campaña SIRGAS, las características del centro de fase de las antenas utilizadas no estaban determinadas con precisión suficiente, no se definieron diferencias simples entre diferentes tipos de antenas (líneas bases mixtas) de manera de evitar pérdida de la precisión.
- Considerando el aspecto antes mencionado y tomando en cuenta el número de unidades de cada tipo de receptor utilizado, se crearon redes de igual tipo de receptor que comprendían las mediciones de un día, tales redes podían ser ajustadas en una estación de trabajo HP en un límite de tres horas.

TABLA 2.4: Estaciones incluidas en el procesamiento GPS SIRGAS del DGFI;  
ID = 4 caracteres para identificación de la estación, REC = sistema receptor/antena

| ID   | Nombre de estación | REC     | ID   | Nombre de estación     | REC     |
|------|--------------------|---------|------|------------------------|---------|
|      | <b>Antartida</b>   |         |      | <b>Colombia</b>        |         |
| OHIG | O'Higgins IGS      | ROG     | CART | Cartagena              | LEI     |
|      | <b>Argentina</b>   |         | BOGT | Bogotá IGS             | ROG     |
| UNSA | Salta              | TRI     | BOGO | Bogotá 2               | LEI     |
| IGUA | Puerto Iguazu      | ASH 228 | INIR | Puerto Inirida         | LEI     |
| IGU2 | Puerto Iguazu 2    | LEI     | PAST | Pasto                  | LEI     |
| RBL5 | Villa Robles       | ASH 228 | LETI | Leticia                | LEI     |
| CRIC | Cricyt             | TRI     |      | <b>Ecuador</b>         |         |
| MORR | Morro              | ASH 718 | GALA | Galapagos              | ASH 228 |
| LPGS | La Plata IGS       | ROG     | LATA | Latacunga              | ASH 228 |
| LOTE | Lote 24            | ASH 718 | ZAMO | Zamora                 | ASH 228 |
| MAI1 | El Maiten 1        | TRI     |      | <b>Guyana Francesa</b> |         |
| MAI2 | El Maiten 2        | LEI     | KOUR | Kourou IGS             | ROG     |
| LO10 | Lote 10B           | TRI     |      | <b>Paraguay</b>        |         |
| RIOG | Rio Grande         | ROG     | ESTI | M. Estigarribia        | ASH 718 |
| RIO1 | Rio Grande 1       | LEI     | ASUN | Asunción               | ASH 718 |
|      | <b>Bolivia</b>     |         |      | <b>Perú</b>            |         |
| RIBE | Riberalta          | TRI     | IQUI | Iquitos                | LEI     |
| CLAR | Clara              | TRI     | PIUR | Piura                  | LEI     |
| HUIC | Huichuraya         | TRI     | LIMA | Lima                   | LEI     |
| CAMI | Camiri             | TRI     | LIM1 | Lima 1                 | LEI     |
| OLLA | Ollague            | TRI     | LIM2 | Lima 2                 | LEI/TRI |
|      | <b>Brasil</b>      |         | AREQ | Arequipa IGS           | ROG     |
| MANA | Manaus             | ASH 718 |      | <b>Uruguay</b>         |         |
| FORT | Fortaleza IGS      | ROG     | YACA | Yacare                 | ASH 718 |
| IMPZ | Imperatriz         | ASH 718 | MONT | Montevideo             | LEI     |
| BOMJ | Bom Jesus Lapa     | ASH 718 | FEZA | Montevideo Fort.       | ASH 718 |
| CUIB | Cuiabá             | ASH 228 | VIGI | Cerro Vigia            | ASH 718 |
| BRAZ | Brasilia IGS       | ROG     |      | <b>Venezuela</b>       |         |
| VICO | Viçosa             | ASH 718 | MARA | Maracaibo              | LEI     |
| UEPP | Pres. Prudente     | TRI     | MAR1 | Maracaibo Astro        | TRI     |
| CACH | Cachoeira          | TRI     | CANO | La Canoa               | TRI     |
| RIOD | Rio de Janeiro     | ASH 718 | JUNQ | Junquito               | TRI     |
| PARA | Curitiba           | ASH 228 | AGUA | Agua Linda             | TRI     |
| CURI | Curitiba RM3       | TRI     | KAMA | Kama                   | LEI     |
|      | <b>Chile</b>       |         |      |                        |         |
| ANTO | Antofagasta        | ROG     |      |                        |         |
| CHAM | Chamonate          | ASH 718 |      |                        |         |
| EISL | Easter Island IGS  | ROG     |      |                        |         |
| SANT | Santiago IGS       | ROG     |      |                        |         |
| CASU | Carriel Sur        | ASH 718 |      |                        |         |
| BLMC | Balmaceda          | ASH 718 |      |                        |         |
| IBAN | Carlos Ibañez      | ASH 718 |      |                        |         |

TABLA 2.5: Excéntricas de diferentes sistemas GPS incluidos en el procesamiento del DGFI

| Sitio         | IDs de estaciones | Sistemas GPS           |
|---------------|-------------------|------------------------|
| Puerto Iguazu | IGUA / IGU2       | ASHTECH 228 / LEICA    |
| Bogotá        | BOGT / BOGO       | TURBOROGUE IGS / LEICA |
| El Maiten     | MAI1 / MAI2       | TRIMBLE / LEICA        |
| Curitiba      | PARA / CURI       | ASHTECH 228 / TRIMBLE  |
| Maracaibo     | MARA / MAR1       | TRIMBLE / LEICA        |
| Rio Grande    | RIOG / RIO1       | TURBOROGUE / LEICA     |
| Montevideo    | MONT / FEZA       | LEICA / ASHTECH 718    |
| Lima          | LIMA / LIM2       | LEICA / TRIMBLE        |

- Las soluciones diarias de estas sub-redes proporcionan un medio para evaluar la consistencia día a día y permite la identificación de valores extraños y de errores de procesamiento; adicionalmente en este ajuste de receptores del mismo tipo se pueden preeliminar parámetros locales tales como la ambigüedad; entonces, las ecuaciones normales reducidas son salvadas mediante acumulación externa en conjunto con todos los otros subconjuntos.
- Los ajustes diarios se ejecutan totalmente sin restricciones como “redes libres”; en consecuencia algún cambio en la definición del datum y alguna introducción o modificación de información fiducial adicional tal como enlaces locales, no requerirán un reprocesamiento de los subconjuntos de ecuaciones normales.
- La acumulación y solución de todos estos sistemas de ecuaciones normales sin restricciones, se efectúa utilizando un programa externo ACCSOL, el cual será descrito en detalle en 2.4.1.4 “Combinación de ecuaciones normales”; antes de esta etapa final del ajuste SIRGAS, no se aplican posiciones ITRF e información fiducial adicional para la materialización del datum. Este procedimiento permite una flexibilidad muy alta, por ejemplo para analizar la sensibilidad de la red SIRGAS a las variaciones del marco de referencia.

### **Pre-procesamiento con el Software BERNESE**

Tal como se mencionó anteriormente, el procesamiento de los datos desde los archivos RINEX hasta la generación de las ecuaciones normales para las redes diarias de receptores específicos, se realizó con el sistema de software para GPS BERNESE (Rothacher et al. 1993). Se usó la versión 3.4 aun cuando la versión 3.5 estuvo disponible después de la campaña SIRGAS. Las razones para mantener la vieja versión fueron:

- Las mejoras realizadas en la versión 3.5 solo fueron de poca importancia para las etapas del pre-procesamiento;

- La versión gpsest del DGFI del programa GPSEST del BERNESE incluía varias mejoras y adiciones, tales como
  - la posibilidad de definir restricciones para estimadores troposféricos en marcas excéntricas,
  - la disponibilidad de mas y mejores modelos de calibración troposférica,
  - la posibilidad de almacenar las ecuaciones normales mediante acumulación externa utilizando el programa ACCSOL del DGFI.

Otros desarrollos implementados en gpsest no son de tanta importancia para el proyecto SIRGAS.

La Figura 2.3 presenta la estructura del procesamiento con el software BERNESE. Debe mencionarse que se dedicó un considerable esfuerzo a la edición de mas de 700 archivos de observación RINEX, con la finalidad de

- chequear la compatibilidad de las cabeceras de los archivos con las convenciones y formatos RINEX,
- homogeneizar los nombres de las estaciones, receptores y antenas,
- definir la altura de la antena y de no estar hecho, reducirla del valor inclinado al vertical, y
- referir las alturas de las antenas a los puntos de referencia definidos en las mismas.

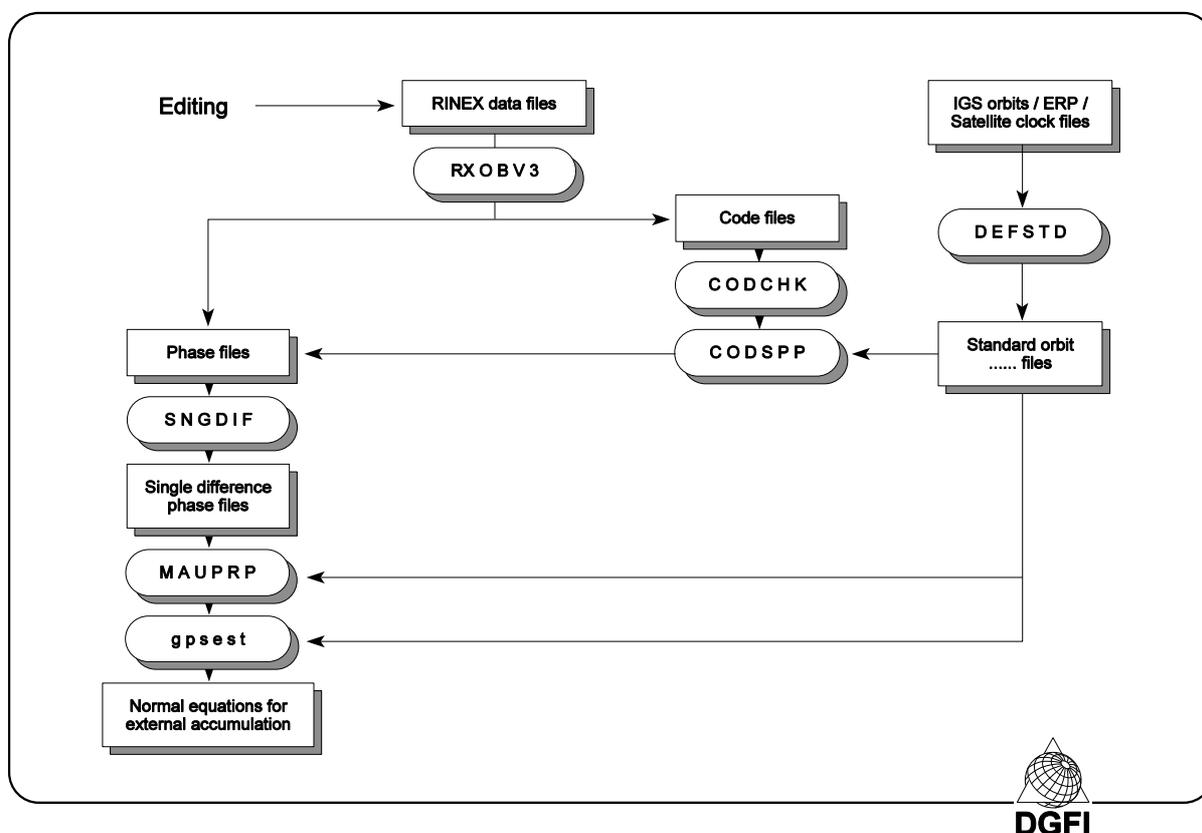


FIGURA 2.3: Esquema generalizado del procesamiento de datos GPS con el software Bernese

A continuación se presentan las características principales del modelaje de las mediciones, los modelos orbitales y la estimación de parámetros tal como se aplicó en el procesamiento SIRGAS:

*Observables básicas* Fase de la portadora L1 y L2, las mediciones de código solo se utilizaron para la sincronización del reloj del receptor;  
Intervalo de medición: 30 segundos  
Angulo de elevación: 10° en el pre-procesamiento,  
15° en el ajuste.

*Observables modeladas* Diferencias dobles, combinación lineal de ionosfera-libre L3.

*Fijación de los saltos de ciclos* Procesamiento de fase en modo línea base por línea base usando diferencias triples; fijación de ciclos mediante chequeo simultáneo de diferentes combinaciones lineales de L1 y L2, opcionalmente eliminación de valores extraños (programa MAUPRP).

*Ionosfera* No modelada debido a que los efectos de primer orden se eliminan mediante combinación lineal L3.

*Troposfera* Calibración previa aplicando parámetros meteorológicos superficiales para una atmósfera estándar y usando el modelo de Davis, el cual consiste de predicción de retrasos cenitales según Saastamoinen y función de mapeo de fracción continua de Davis;

Estimación de correcciones de retraso cenital cada 4 horas, aplicando una función de mapeo de 1/cos (distancia cenital), sin restricciones a un modelo previo.

| <i>Corrección del centro de masa del satélite</i> | X     | Y     | Z        |
|---|-------|-------|----------|
| Bloque I  | .2100 | .0000 | .8540 m  |
| Bloque II/IIA                                     | .2794 | .0000 | 1.0259 m |

*Corrección del centro de fase de la antena del receptor* Desplazamientos del centro medio de fase de la antena con respecto a los puntos de referencia definidos en la antena de acuerdo al modelo IGS-01, suministrados el 30 de Junio de 1996; valores aplicados se presentan en la Tabla 2.6;

Corrección dependiente de la elevación, también de acuerdo al modelo IGS-01; las correcciones aplicadas a las antenas utilizadas en SIRGAS se muestran en la Figura 2.4;

Ambos tipos de correcciones son relativas a la antena DORNE MARGOLIN T.

|  |   |
|--|---|
| <i>Ambigüedades</i>                            | No resueltas, pero son pre-eliminadas en cada conjunto del sistema de ecuaciones normales para un día y de un mismo tipo de receptor.         |
| <i>Órbitas, errores del reloj del satélite</i> | Órbitas IGS combinadas definitivamente y serie de parámetros del reloj del satélite de acuerdo a los archivos IGS 08025.SP3 a IGS 08040.SP3 . |
| <i>Orientación terrestre</i>                   | Adoptada de las soluciones IGS compatibles con las órbitas de los satélites según los archivos IGS 08027.ERP a IGS 08047.ERP .                |

Las órbitas satelitales generadas por el IGS en la época de la campaña SIRGAS se refieren al ITRF 93. Aplicando estas órbitas al procesamiento SIRGAS se está introduciendo una ligera restricción al ITRF 93. No obstante, en esta etapa el ajuste diario y las ecuaciones normales guardadas podrían considerarse casi sin restricciones como “redes libres”. Por lo tanto, la realización del marco de referencia terrestre para el proyecto SIRGAS, se discute mas adelante.

TABLA 2.6: Desplazamientos de los centros de fase medios de las antenas (mm) en norte (N), este (E) y altura (H) con respecto a los puntos de referencia (ARP) aplicados a SIRGAS, según la proposición del IGS (modelo IGS-01)

| Antena                                 | Frec. | N    | E    | H      |
|--|-------|------|------|--------|
| ROGUE DORNE MARGOLIN B                 | L1    | 0.0  | 0.0  | 78.0   |
|  | L2    | 0.0  | 0.0  | 96.0   |
| ROGUE DORNE MARGOLIN R                 | L1    | 0.0  | 0.0  | 78.0   |
|  | L2    | 0.0  | 0.0  | 96.0   |
| TURBOROGUE DORNE MARGOLIN T            | L1    | 0.0  | 0.0  | 110.0  |
|  | L2    | 0.0  | 0.0  | 128.0  |
| TRIMBLE 4000 ST L1/L2 GEOD             | L1    | 0.0  | -3.0 | 78.0   |
|  | L2    | -3.1 | -1.3 | 74.4   |
| TRIMBLE TR GEOD L1/L2 GP               | L1    | 1.5  | -1.2 | 75.1   |
|  | L2    | -1.1 | 1.7  | 69.2   |
| LEICA SR 299 INTERNAL                  | L1    | 3.1  | -0.2 | 113.1* |
|  | L2    | 1.3  | -3.5 | 117.2* |
| ASHTECH GEODETIC L1/L2 P Model 700 228 | L1    | 0.5  | 0.3  | 79.9   |
|  | L2    | -1.2 | 0.8  | 79.2   |
| ASHTECH GEODETIC L1/L2 P Model 700 718 | L1    | 3.4  | 1.0  | 87.3   |
|  | L2    | 3.1  | -1.3 | 63.4   |

\* 91.0 mm de estos desplazamientos en altura ya están incluidos en las alturas de las antenas

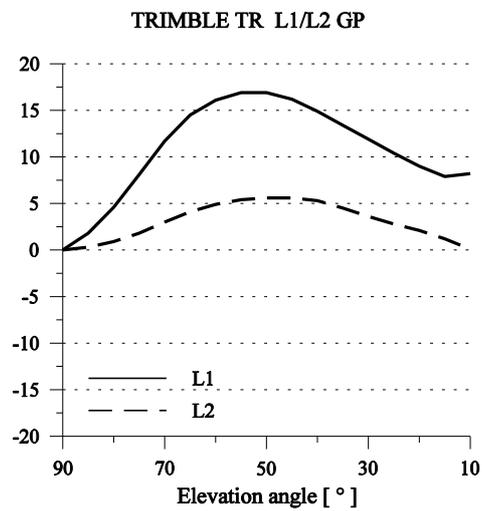
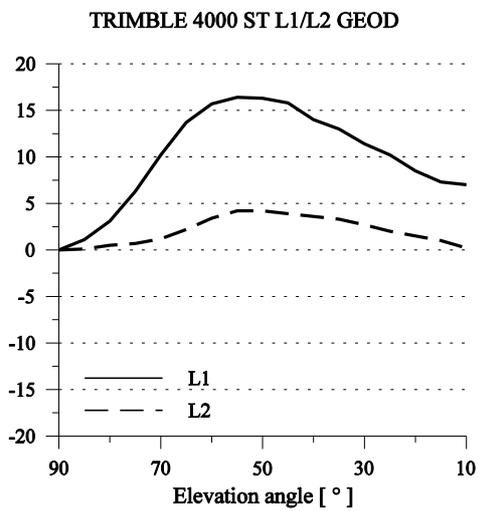
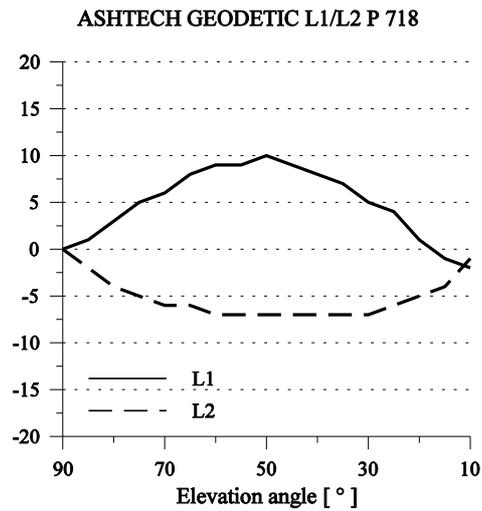
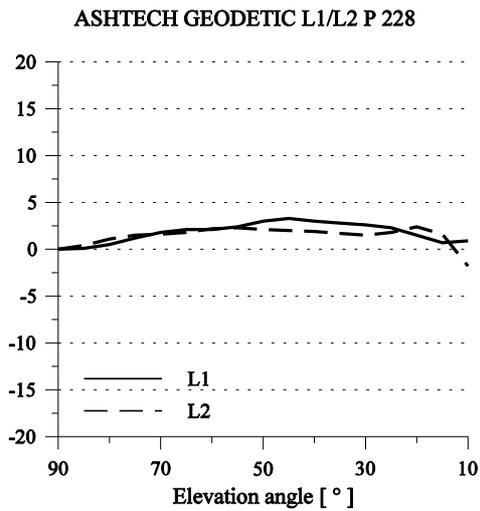
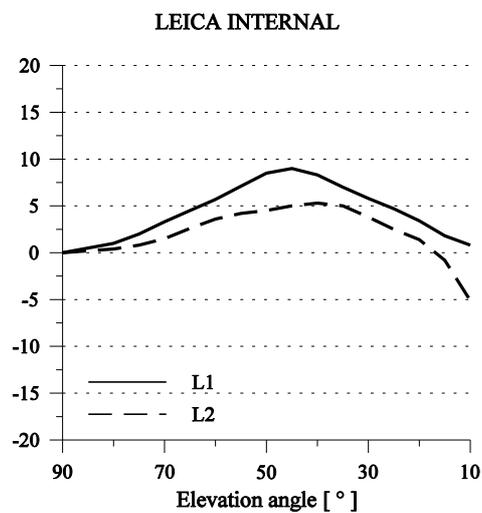


FIGURA 2.4: Correcciones (mm) del centro de fase dependiente de la elevación para las antenas GPS utilizadas en SIRGAS, con respecto a la antena DORNE MARGOLIN T (fuente: modelo IGS-01)



## Combinación de Ecuaciones Normales

Tal como se describió en la sección anterior, los sistemas de ecuaciones normales diarios para un receptor específico pueden considerarse la representación de “redes libres” casi sin restricciones a pesar que la aplicación de las órbitas IGS en la época SIRGAS establece una ligera relación al ITRF 93. Para la acumulación y solución de un número arbitrario de tales conjuntos de ecuaciones normales ha sido desarrollado en el DGFI el programa ACCSOL (ACCumulate and SOLve). De importancia para SIRGAS, este programa permite, entre otras, las siguientes opciones:

- Introducir coordenadas de puntos fiduciales como ecuaciones de observación adicionales asignándoles pesos individuales;
- Aplicar ecuaciones de condición restringiendo ciertos pares de estimadores troposféricos para igualarlos, por ejemplo en lugares con estaciones excéntricas;
- Introducir información de excentricidades locales, por ejemplo en las estaciones fiduciales o para receptores excéntricos, como información estocástica.

La estructura general de la combinación de las ecuaciones normales en ACCSOL se presenta en la Figura 2.5.

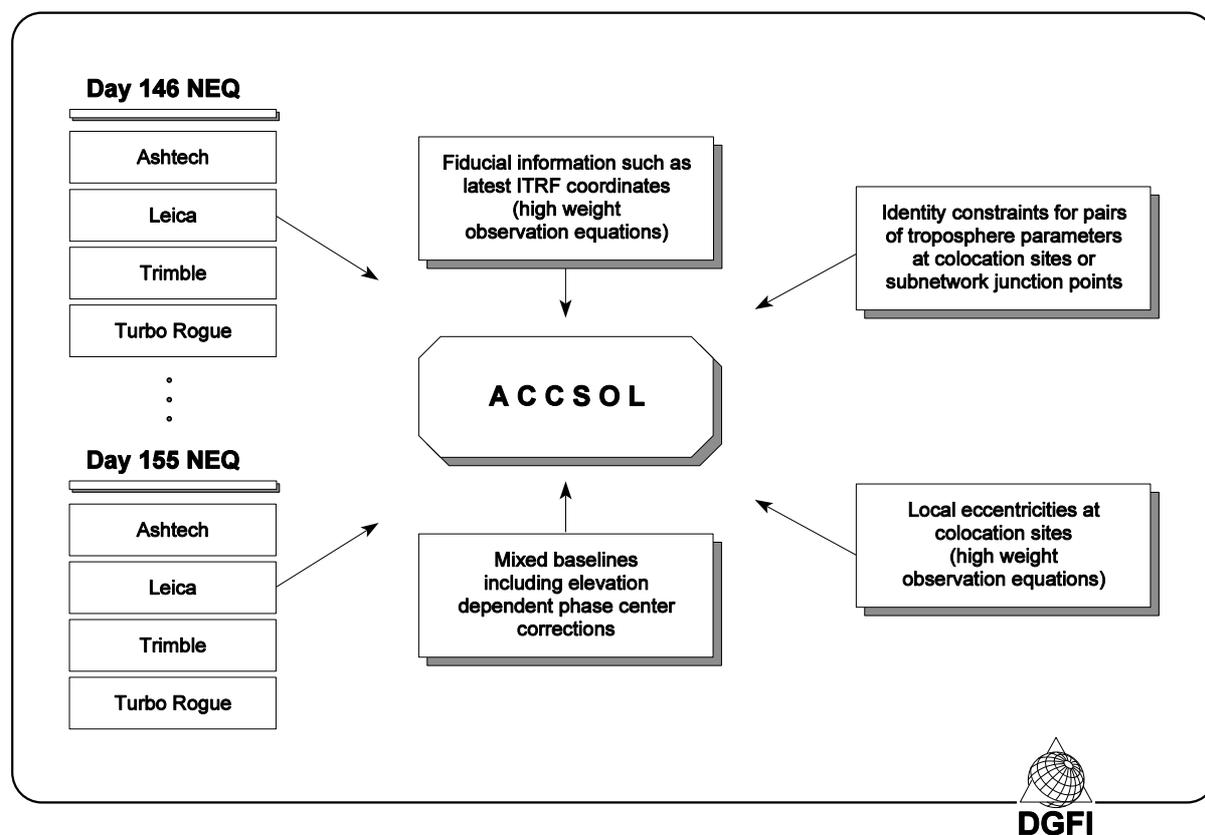


FIGURA 2.5: Combinación de ecuaciones normales SIRGAS e información adicional en ACCSOL

El procedimiento para referir la red SIRGAS a un marco de referencia global tal como el ITRF será discutido mas adelante. Con respecto a las otras opciones para la combinación de ecuaciones independientes de las sub-redes SIRGAS, se procedió de la siguiente forma:

- Los archivos con diferencias de fase simple L1 y L2 que contenían diferentes sistemas de receptores operados en las estaciones excéntricas se introducen aplicando los modelos de centro de fase propuestos por el IGS, ver Tabla 2.6 y Figura 2.4; las estaciones y sistemas receptor/antena se presentan en la Tabla 2.5.
- Adicionalmente a estos lugares con excéntricas, algunas componentes locales de excentricidad fueron aplicadas, considerando que estos enlaces estaban disponibles a partir de mediciones completamente independientes de los datos SIRGAS, incluyendo observaciones terrestres como la nivelación. La Tabla 2.7 documenta estas excentricidades locales que son incluidas en ACCSOL como ecuaciones de observación con la desviación estándar que le corresponde.
- Experimentando que la aplicación de los modelos de variación de centro de fase del IGS aumentan la precisión hasta en un 10 % y no presentan desviaciones considerables, se incluyeron adicionalmente algunas líneas bases mixtas para reforzar la conexión entre las sub-redes de receptores iguales y la red ROGUE, la cual realiza la referencia a la red global. Estas líneas bases mixtas son: Arequipa IGS - Huichuraya, Fortaleza IGS - Imperatriz y Santiago IGS -Carriel Sur.

#### **2.4.1.5- RESULTADOS**

##### **Problemas en los Datos**

Tal como se mencionó anteriormente en el ítem 2.4.1.3, la estación S.J de Chiquitos en Bolivia se descartó desde la primera etapa del procesamiento SIRGAS debido a que el receptor TRIMBLE que operaba en este lugar no registró suficientes datos L2; además dos excéntricas en Arequipa no se incluyeron por tener muy pocos datos disponibles. No hubo ninguna otra falla completa de alguna otra estación.

En todo caso, el procesamiento de todos los archivos de diferencias simples incluyendo la estación KOUROU del IGS (KOUR) operada con un TURBOROGUE ocasionó fuertes problemas dado que

- la data adquirida estaba afectada por muchos saltos de ciclos en comparación con otros receptores, y
- estos saltos, en varios casos, no pudieron eliminarse exitosamente.

En consecuencia, aún cuando se invirtió mucho esfuerzo para analizar estos problemas, finalmente solo pudo incluirse en el ajuste aproximadamente la mitad de los datos de KOUROU.

Problemas similares a los presentados por esta estación, mostraron en el procesamiento las otras estaciones TURBOROGUE cercanas al ecuador, por ejemplo BOGT (Bogotá) y

TABLA 2.7: Excentricidades locales entre receptores aplicadas en el ajuste SIRGAS

| <b>ARCHIVO DE EXCENTRICIDADES PARA EL PROGRAMA ACCSOL</b>   |                 |            |          |           |
|---|-----------------|------------|----------|-----------|
| Componentes del vector en X, Y, Z o distancia R o diferencia de altitud H de la estación I a la estación II + desviaciones estandar asignadas (M) |                 |            |          |           |
| ESTACION I  | ESTACION II     | COMPONENTE |          | DESV.EST. |
| EL MAITEN 1   | EL MAITEN 2     | X          | 8.627    | .002      |
| EL MAITEN 1   | EL MAITEN 2     | Y          | -3.752   | .002      |
| EL MAITEN 1   | EL MAITEN 2     | Z          | 6.439    | .002      |
| EL MAITEN 1   | EL MAITEN 2     | H          | 0.385    | .002      |
| RIO GRANDE  | RIO GRANDE 1    | X          | -24.700  | .002      |
| RIO GRANDE  | RIO GRANDE 1    | Y          | -8.552   | .002      |
| RIO GRANDE  | RIO GRANDE 1    | Z          | -0.065   | .002      |
| RIO GRANDE  | RIO GRANDE 1    | H          | -0.810   | .002      |
| PUERTO IGUAZU   | PUERTO IGUAZU 2 | X          | -57.953  | .003      |
| PUERTO IGUAZU   | PUERTO IGUAZU 2 | Y          | -67.699  | .003      |
| PUERTO IGUAZU   | PUERTO IGUAZU 2 | Z          | 47.135   | .003      |
| CURITIBA  | CURITIBA RM3    | X          | -21.354  | .002      |
| CURITIBA  | CURITIBA RM3    | Y          | -8.371   | .002      |
| CURITIBA  | CURITIBA RM3    | Z          | -11.352  | .002      |
| MONTEVIDEO  | MONTEVIDEO FORT | X          | 5.834    | .002      |
| MONTEVIDEO  | MONTEVIDEO FORT | Y          | 9.089    | .002      |
| MONTEVIDEO  | MONTEVIDEO FORT | Z          | 8.389    | .002      |
| LIMA  | LIMA 1          | X          | 3.511    | .002      |
| LIMA  | LIMA 1          | Y          | 1.907    | .002      |
| LIMA  | LIMA 1          | Z          | -5.010   | .002      |
| LIMA  | LIMA 2          | X          | -5.306   | .002      |
| LIMA  | LIMA 2          | Y          | -0.423   | .002      |
| LIMA  | LIMA 2          | Z          | -3.635   | .002      |
| MARACAIBO ASTRO   | MARACAIBO       | X          | 21.093   | .003      |
| MARACAIBO ASTRO   | MARACAIBO       | Y          | 9.847    | .003      |
| MARACAIBO ASTRO   | MARACAIBO       | Z          | 26.032   | .003      |
| BOGOTA IGS  | BOGOTA          | X          | 118.455  | .003      |
| BOGOTA IGS  | BOGOTA          | Y          | -14.117  | .003      |
| BOGOTA IGS  | BOGOTA          | Z          | -150.883 | .003      |
| BOGOTA IGS  | BOGOTA          | H          | 33.7225  | .005      |

FORT (Fortaleza). Suponemos que estos efectos son debidos a las rápidas variaciones de los retrasos ionosféricos, los cuales no pueden ser suficientemente detectados por las estaciones IGS operadas con intervalo de medición de 30 segundos solamente.

Esfuerzos particulares fueron además necesarios al procesar algunas de las estaciones LEICA en Colombia, Perú y Venezuela, las cuales también fueron operadas con intervalo de captura de datos de 30 segundos. En todo caso, debido a la carencia de suficiente espacio de memoria y al relativamente alto consumo de energía del sistema LEICA 200, en comparación con otros receptores, en algunas de estas estaciones se presentaron desviaciones con respecto al programa de observación previsto, puesto que:

- algunos archivos de datos estaban afectados,
- algunas sesiones no finalizaban a la medianoche sino que se extendían por varias horas del siguiente día, y
- algunas sesiones estaban divididas en varios archivos, a veces con grandes espacios de tiempo entre ellos.

Todas estas irregularidades requirieron mucho mas trabajo manual y edición de archivos, por ejemplo con la finalidad de ajustar el modelaje troposférico a la distribución individual de datos. A pesar de todo pueden darse errores de procesamiento que deben tratarse cuidadosamente.

### **Consistencia del Ajuste Diario**

Es bien conocido el hecho que las desviaciones estándar resultantes de los ajustes de redes GPS, debido al gran número de datos incluidos, generalmente son demasiados optimistas ; estas reflejan solo la precisión interna y no la exactitud de la solución. Tal como fue discutido anteriormente, en el DGFI se ajustaron redes de receptores específicos para un solo día. La comparación de los resultados no solo proporcionó un medio para detectar datos con problemas en el procesamiento, sino que además permite evaluar las exactitudes. El procesamiento del proyecto SIRGAS fue distribuido en cuatro análisis. Adicionalmente se hizo énfasis en la variación de la definición de las líneas bases día a día, la razón para esto es el hecho que a pesar de que las correlaciones matemáticas son tratadas correctamente en el software, las correlaciones físicas no pueden ser tratadas en la misma forma. Por lo tanto el diseño de la matriz fue variado cada día.

Para estas redes diarias de un mismo tipo de instrumento, se fijaron las órbitas y parámetros asociados a la rotación terrestre del IGS, pero no se aplicó ninguna otra restricción. Por lo tanto, los ajustes pueden considerarse casi como redes libres. Para su comparación los defectos de rango numérico se remueven mediante transformación de similaridad. En la Tabla 2.8 se reseñan las diferencias de la raíz media cuadrada (rms) entre los ajustes diarios y la solución de 10 días para las redes ASHTECH, TRIMBLE y LEICA.

La combinación de estas redes incluye líneas bases mixtas a partir de colocaciones excéntricas y adicionalmente excentricidades locales. Las comparaciones permiten formular las siguientes conclusiones:

- Entre los tres receptores considerados, el ASHTECH Z XII demuestra por amplio margen el mejor desempeño en las tres componentes, seguido por TRIMBLE SSE y LEICA 200;
- En el caso de la red LEICA los mayores problemas en las alturas se deben probablemente a los ligeramente peores modelajes de la troposfera considerando las irregularidades en las observaciones antes mencionadas;
- Sorpresivamente, el día 152 muestra significativamente peores resultados que todos los otros días, principalmente en las componentes de la posición horizontal; el efecto parece ser causado por inconsistencias en las órbitas, ya que esto se observa en todos los receptores;

TABLA 2.8: Consistencia de las redes de receptores específicos: diferencias de los RMS en norte (N), este (E) y altura (H) entre ajustes de un solo día y las soluciones de 10 días [mm]

| Día      | ASHTECH Z XII |     |      | TRIMBLE SSE |      |      | LEICA 200 |      |      |
|----------|---------------|-----|------|-------------|------|------|-----------|------|------|
|          | N             | E   | H    | N           | E    | H    | N         | E    | H    |
| 146      | 3.9           | 4.9 | 10.9 | 6.4         | 6.6  | 14.1 | 6.3       | 4.7  | 14.2 |
| 147      | 2.7           | 4.9 | 4.7  | 4.3         | 7.1  | 12.7 | 6.7       | 6.9  | 14.9 |
| 148      | 2.9           | 2.1 | 9.6  | 4.1         | 5.9  | 7.9  | 3.3       | 9.8  | 10.5 |
| 149      | 4.7           | 6.9 | 8.5  | 4.4         | 4.1  | 11.4 | 4.7       | 6.6  | 19.9 |
| 150      | 3.6           | 5.3 | 9.0  | 5.1         | 5.9  | 16.1 | 7.7       | 7.9  | 12.6 |
| 151      | 3.0           | 2.9 | 6.4  | 4.9         | 5.3  | 9.4  | 7.5       | 5.0  | 16.8 |
| 152      | 5.4           | 7.5 | 7.0  | 7.2         | 12.6 | 11.8 | 11.4      | 17.5 | 17.3 |
| 153      | 3.2           | 4.7 | 6.5  | 5.5         | 5.2  | 11.0 | 4.9       | 6.6  | 9.3  |
| 154      | 3.9           | 5.3 | 6.9  | 6.3         | 9.0  | 10.2 | 3.6       | 4.1  | 10.0 |
| 155      | 4.2           | 3.0 | 7.6  | 5.2         | 7.6  | 12.7 | 4.2       | 9.2  | 17.7 |
| Promedio | 3.7           | 4.8 | 7.8  | 5.3         | 6.9  | 11.7 | 6.0       | 7.8  | 14.3 |

- La consistencia diaria de la red combinada ASHTECH + TRIMBLE +LEICA es ligeramente peor que el promedio de los ajustes de los receptores por separado debido a que algunos días tales como el 150 estuvieron afectados por algunos datos poco densos en las excéntricas.

La inclusión de la red ROGUE/TURBOROGUE mediante las estaciones IGS para establecer la referencia al ITRF será discutido en la próxima parte.

### Referencia al ITRF

Las órbitas combinadas IGS utilizadas en el ajuste SIRGAS se refieren al ITRF 93 en el sentido que todos los centros de análisis en sus cálculos orbitales fijaron 13 estaciones en sus posiciones ITRF 93 extrapoladas a la época de medición mediante la aplicación de velocidades individuales. Entre estas 13 estaciones fijadas, Santiago (SANT) es la única ubicada en el continente suramericano. En la fecha de la campaña SIRGAS otras tres estaciones IGS en Suramerica, ya incluidas en las soluciones ITRF, estaban disponibles: Arequipa (AREQ), Fortaleza (FORT) y KOUROU (KOUR). Considerando que debido a su relativamente corta historia de seguimiento, la exactitud de las posiciones y velocidades ITRF para estas estaciones, podría no ser tan buena como en Europa o Norte América, se incluyó en el procesamiento tres estaciones IGS adicionales con la finalidad de apoyar la solución SIRGAS en tantos puntos fiduciales como fuese posible, estas son Richmond (RCM5), Isla de Pascuas (EISL) y O'Higgins (OHIG).

La Tabla 2.9 documenta las coordenadas ITRF 93 de estas siete estaciones fiduciales en la época SIRGAS 1995.4. Las desviaciones estándar dadas se obtienen por propagación de los errores de las posiciones y velocidades 1993.0 en ITRF. Debe mencionarse que ITRF 93 no siempre reporta posiciones para las estaciones GPS, para tres de las siete estaciones tuvo que adoptarse para los puntos de referencia GPS, valores provenientes de SLR o VLBI. La Tabla 2.10 presenta estas excentricidades locales aplicadas al procesamiento SIRGAS

TABLA 2.9: Coordenadas ITRF 93 y sus desviaciones estándar en la época 1995.4 de las estaciones IGS

| Estación                      | X [m]                  | Y [m]                  | Z [m]                  |
|-------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| AREQ*                         | 1942826.702<br>± .010  | -5804070.246<br>± .012 | -1796893.951<br>± .011 |
| EISL                          | -1884951.834<br>± .013 | -5357595.859<br>± .013 | -2892890.453<br>± .013 |
| FORT                          | 4985386.614<br>± .017  | -3954998.591<br>± .014 | -428426.485<br>± .008  |
| KOUR                          | 3839591.407<br>± .018  | -5059567.552<br>± .021 | 579956.921<br>± .009   |
| OHIG                          | 1525872.432<br>± .011  | -2432481.295<br>± .013 | -5676146.025<br>± .023 |
| RCM5                          | 961334.748<br>± .004   | -5674074.152<br>± .003 | 2740535.147<br>± .004  |
| SANT                          | 1769693.287<br>± .006  | -5044574.139<br>± .006 | -3468321.037<br>± .007 |
| * Basada en posición SLR 7403 |                        |                        |                        |

Desde comienzos de 1996 está disponible la nueva solución ITRF 94 , la cual incluye observaciones efectuadas hasta finales de 1994 y debería proporcionar posiciones y velocidades mas exactas, especialmente para las estaciones que interesan en este proyecto. De cualquier modo, los sistemas de referencia ITRF 93 e ITRF 94 no son totalmente idénticos. Por otra parte, debido a modificaciones del concepto de estimación del ITRF 94 no se reportan mas velocidades para la estación OHIG. Por otro lado, el sistema incluye ahora, además, la posición de 3 puntos GPS de los reseñados en la Tabla 2.10; De esta forma la aplicación de enlaces locales puede evitarse. Con la finalidad de mantener a la estación OHIG como un punto fiducial en ITRF 94 nosotros hemos adoptado su posición en la época de referencia 1993.0 y transferido la misma a la época SIRGAS 1995.4 simplemente aplicando la velocidad reportada en ITRF 93. La Tabla 2.11 presenta las coordenadas de los puntos fiduciales en ITRF 94, nuevamente las desviaciones estándar fueron calculadas de los errores de las posiciones y velocidades ITRF.

Con la finalidad de determinar la consistencia interna entre las soluciones ITRF 93 e ITRF 94 hemos estimado una transformación de similitud de un conjunto de coordenadas a otro, aplicando pesos de acorde a las desviaciones estándar individuales; las diferencias del sistema

de referencia deberían entonces compensarse totalmente mediante los parámetros de transformación. La Tabla 2.12 presenta los residuales después de la transformación, la cual claramente indica que la consistencia es solo en el orden de 1 cm o peor.

TABLA 2.10: Enlaces locales aplicados del centro de las posiciones ITRF 93 a los puntos de referencia GPS; Fuente: catálogo de las estaciones IGS

| Sitio                            | $\Delta X$ [m] | $\Delta Y$ [m] | $\Delta Z$ [m] |
|----------------------------------|----------------|----------------|----------------|
| Arequipa<br>SLR 7403 → AREQ      | 18.6152        | -.5478         | 21.4987        |
| O'Higgins<br>VLBI 7245 → OHIG    | 39.4501        | -17.6389       | 28.4357        |
| Easter Island<br>SLR 7097 → EISL | 32.0162        | 12.4845        | -37.0883       |

TABLA 2.11: Coordenadas ITRF 94 y sus desviaciones estándar en la época 1995.4 de las estaciones IGS que materializan el marco de referencia para el ajuste SIRGAS

| Estación | X [m]                  | Y [m]                  | Z [m]                  |
|----------|------------------------|------------------------|------------------------|
| AREQ     | 1942826.725<br>± .009  | -5804070.245<br>± .008 | -1796894.018<br>± .009 |
| EISL     | -1884951.831<br>± .011 | -5357595.820<br>± .011 | -2892890.498<br>± .011 |
| FORT     | 4985386.652<br>± .011  | -3954998.583<br>± .011 | -428426.523<br>± .010  |
| KOUR     | 3839591.454<br>± .013  | -5059567.548<br>± .012 | 579956.899<br>± .009   |
| OHIG*    | 1525872.457<br>± .014  | -2432481.278<br>± .017 | -5676146.046<br>± .028 |
| RCM5     | 961334.783<br>± .009   | -5674074.162<br>± .006 | 2740535.140<br>± .008  |
| SANT     | 1769693.312<br>± .011  | -5044574.130<br>± .010 | -3468321.076<br>± .010 |

\* Basada en posición ITRF 94 y velocidad ITRF 93

TABLA 2.12: Discrepancias entre los sub-conjuntos ITRF 93 e ITRF 94 de las estaciones que materializan el marco de referencia para el ajuste SIRGAS; residuales [cm] después de la transformación de similaridad ITRF 93 a ITRF 94 incluyendo (izquierda) y excluyendo (derecha) OHIG; se aplicaron pesos individuales de acuerdo a las desviaciones estándar

| ID de Estación | $\Delta X$ | $\Delta Y$ | $\Delta Z$ | $\Delta X$ | $\Delta Y$ | $\Delta Z$ |
|----------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| AREQ           | .27        | .18        | 2.64       | .30        | .38        | 2.42       |
| EISL           | .00        | -1.72      | .96        | -.30       | -1.40      | .69        |
| FORT           | 1.45       | -.96       | .33        | 1.73       | -.72       | .33        |
| KOUR           | -.23       | -1.13      | -.77       | -.01       | -1.03      | -.76       |
| OHIG           | .00        | 1.92       | -2.93      |            |            |            |
| RCM5           | -.30       | .13        | -.47       | -.33       | .01        | -.33       |
| SANT           | -.22       | .41        | -.83       | -.21       | .77        | -1.13      |
| RMS            | .58        | 1.14       | 1.61       | .75        | .85        | 1.18       |

### Solución Final

Con la finalidad de obtener el conjunto de coordenadas mas razonable, se efectuaron varios ajustes de la red completa SIRGAS utilizando el programa ACCSOL. Estas varias soluciones incluyen las siguientes alternativas:

- Amarrando la red SIRGAS fuertemente a ITRF 93 o ITRF 94 mediante la aplicación de pesos muy altos, permitiendo solo variaciones de algunos milímetros en las coordenadas de los puntos fiduciales;
- Aplicando pesos individuales a las coordenadas fiduciales de acuerdo a sus desviaciones estándar en la época 1995.4, tal como se presentó para ITRF 93 e ITRF 94 en las Tablas 2.9 y 2.11 respectivamente;
- Ajustes de “red libre” con la subsecuente transformación de similaridad al ITRF 93 o al ITRF 94, nuevamente aplicando pesos individuales al ajustar los parámetros de transformación.

Todas las soluciones que apuntaron hacia la restricción cerrada de SIRGAS a las posiciones ITRF produjeron distorsiones en la red. Las discrepancias entre las posiciones de los puntos fiduciales resultantes de las coordenadas ITRF en la época 1993.0 con las velocidades asociadas, excedió la consistencia interna de la misma red SIRGAS. Por lo tanto, finalmente decidimos seguir la tercera alternativa mencionada arriba, la cual tiene algunas ventajas adicionales con respecto a las otras soluciones:

- La estimación de precisión resultante de un ajuste de “red libre”, de aproximadamente 0.8 mm para las coordenadas X y Z y 1.4 mm para Y, no puede ser considerada una medida de exactitud; en su lugar la inclusión de errores de transformación en la estimación de las desviaciones estándar después de la transformación a ITRF, probablemente proporcione exactitudes mas reales.

- dando los parámetros de transformación resultantes, la solución de “red libre” original puede ser fácilmente reconstruida desde el conjunto de coordenadas transformadas, de esta forma la referencia a soluciones ITRF adicionales puede efectuarse sin necesidad de reprocesamiento.

Las coordenadas finales DGFI de la red SIRGAS y sus exactitudes no se muestran en este reporte, para evitar confusión con los resultados oficiales, pero están disponibles para consulta en el IBGE o DGFI. Esta solución se refiere al ITRF 94 materializado por las siete estaciones dadas en la Tabla 2.11.

#### **2.4.1.6- SUMARIO**

El DGFI ha procesado la campaña GPS SIRGAS 95 la cual tuvo como objetivo el establecimiento de una red de referencia de casi 70 estaciones distribuidas en todo el continente suramericano. Para esta tarea se utilizó el sistema de procesamiento BERNESE, incluyendo algunas mejoras desarrolladas e implementadas en el mismo instituto. Las principales características de nuestro procesamiento pueden resumirse en los siguientes aspectos:

- Se invirtió un esfuerzo considerable para editar todos los archivos de datos y chequear los registros mas importantes ya que la calidad del resultado final depende no solo de la estrategia de procesamiento y del software utilizado sino principalmente de las mediciones efectuadas y la confiabilidad de la información de la estación, tal como las alturas de las antenas.
- Se procesaron sub-redes de instrumentos del mismo tipo para cada día; luego de la correcta eliminación matemática de las ambigüedades, las ecuaciones normales fueron conservadas por acumulación externa. Este procesamiento distribuido de los datos proporciona algunas ventajas en el control y estimación de la exactitud/confiabilidad.
- Las redes de receptores específicos fueron procesadas en el modo de “red libre”, solamente las órbitas y parámetros asociados a la rotación terrestre se mantuvieron fijos. Toda la información adicional tal como enlaces locales, líneas bases mixtas en estaciones excéntricas y coordenadas de puntos fiduciales que materializan el marco de referencia, se aplicaron solamente en la etapa final del ajuste. Este último paso es la acumulación de todos los conjuntos de ecuaciones normales y su solución usando el programa ACCSOL del DGFI. La estrategia seleccionada proporcionó gran flexibilidad en el sentido que los cambios en las informaciones fiduciales aplicadas no requieren ningún procesamiento de los datos.
- Cuando se procesó la campaña SIRGAS se pudo observar que la exactitud interna de la red es mejor que la exactitud de las siete estaciones ITRF disponibles en Suramerica y sus alrededores que materializan el marco de referencia, esto se demostró por la consistencia de las soluciones diarias. Por lo tanto, la solución final está basada en un ajuste como “red libre” con su subsecuente transformación al ITRF 94, dando los pesos que correspondan. De esta forma, las coordenadas SIRGAS pueden actualizarse fácilmente en cuanto se disponga de un marco de referencia mejor que el ITRF.

- El ajuste SIRGAS incluye los últimos modelos para la variación del centro de fase de la antena propuestos por el IGS, lo cual no significa que se puede dar fe de una calibración absoluta. Los enlaces locales se aplicaron así como su información estocástica considerando sus incertidumbres previstas. La precisión de la red libre está en el orden de 0.8 mm en las coordenadas X y Z y 1.4 mm en la componente Y. Las desviaciones estándar dadas con la solución incluyen las incertidumbres en la transformación a ITRF 94 y probablemente son mediciones reales de la exactitud.

#### **2.4.1.7- REFERENCIA**

ROTHACHER, M.; BEUTLER, G.; GURTNER, W.; BROCKMANN, E.; MERVART, L.. Bernese GPS Software Version 3.4 Documentation. Astronomical Institute, University Bern, 1993.

### **2.4.2- DERIVACION DEL NIMA PARA LAS COORDENADAS DE LAS ESTACIONES DE LA RED DE REFERENCIA CONTINENTAL SIRGAS**

#### **2.4.2.1- INTRODUCCION**

Este informe presenta los resultados de la Agencia Nacional de Mapas e Imágenes (NIMA [National Imagery and Mapping Agency]) a raíz de su procesamiento de datos GPS reunidos durante la campaña continental SIRGAS, que se llevó a cabo entre el 26 de mayo y el 4 de junio de 1996. Diez días de datos, desde 69 estaciones en 11 países, fueron procesados mediante el software GIPSY-OASIS II.

Dado que se seleccionó el Sistema de Referencia Terrestre Internacional de 1994 (ITRF94 [International Terrestrial Reference Frame 1994]) como marco de referencia para la red SIRGAS, las coordenadas finales de las estaciones SIRGAS son de referencia ITRF94, época 1995.42. Debido al periodo de tiempo de la campaña SIRGAS, todas las posiciones de estaciones son computarizadas mediante ITRF93. Los parámetros de transformación fueron aplicados a las coordenadas ITRF93 de estaciones con el fin de obtener las coordenadas deseadas ITRF94.

#### **2.4.2.2- ACTIVIDADES DE PROCESAMIENTO PRELIMINAR**

Aproximadamente 130 megabytes de datos RINEX existían para cada día. El Deustches Geodaetisches Forschungs Institut (DGFI) verificó que los archivos RINEX se hallaban completos y que las mediciones sobre la altura del instrumento (HI [Height Instrument]) eran correctas. Todos los archivos fueron almacenados, en forma condensada, en el computador accesible por Internet del instituto DGFI en Munich, Alemania.

Los datos condensados fueron telecargados desde el DGFI mediante el Internet. A continuación, los datos fueron separados por día y procesados con un ordenador IBM RS6000 mediante GIPSY II. Los archivos de datos de estación (RINEX), con sesiones múltiples diarias, fueron combinados para formar una sesión de aproximadamente 23 horas. Algunos

receptores de estaciones no fueron inicializados y cesados a 0000 Hora Universal. Estos archivos fueron divididos y recombinados con el fin de obtener períodos de sesiones dentro de un día de 24 horas, Hora Universal.

Nueve de los sitios comprendían más de un receptor:

- Arequipa, Perú - Códigos de estación AREQ, ARE1 y ARE2.
- Bogotá, Colombia - Códigos de estación BOGO y BOGT.
- Curitiba, Brasil - Códigos de estación CURI y PARA.
- Fortaleza, Uruguay - Códigos de estación FEZA y MONT.
- Puerto Iguazu, Argentina - Códigos de estación IGUA e IGU2.
- Lima, Perú - Códigos de estación LIMA, LIM1 y LIM2.
- El Maiten, Argentina - Códigos de estación MAI1 y MAI2.
- Maracaibo, Venezuela - Códigos de estación MARA y MAR1.
- Rio Grande, Argentina - Códigos de estación RIOG y RIO1.

Los datos provenientes de estos receptores fueron procesados independientemente con GIPSY-OASIS II.

### **2.4.2.3- COMPUTACIONES Y ANALISIS**

#### **Posicionamiento de Punto Absoluto GPS**

El software GIPSY II fue utilizado para producir el posicionamiento de punto absoluto para las estaciones SIRGAS. GIPSY II ejecuta modelados de mareas terrestres sólidas, de cargamento oceánico y de mareas polares. Asimismo, utiliza una función de trazado Lanyi (1984) para modelar la troposfera.

Todos los datos disponibles, con excepción de las sesiones de problemas y valores atípicos, fueron utilizados para establecer las coordenadas de estación finales. De dos a diez sesiones fueron procesadas para todas las estaciones SIRGAS (refiérase a la Tabla 2.20 para comprobar el número de sesiones procesadas para cada estación). Cada sesión de estación fue computarizada con un ángulo límite de altitud de 10°, con excepción de circunstancias especiales en las que los resultados obtenidos fueron de mala calidad. Un ángulo límite de 20° fue el valor máximo utilizado. Un intervalo de muestreo de 300 segundos (5 minutos) fue utilizado para el procesamiento de datos.

## Órbitas y Relojes Precisos

Se utilizaron órbitas de satélites y cálculos de reloj precisos, computarizados por el laboratorio JPL (Jet Propulsion Laboratory) de la NASA y obtenidos vía FTP, para la reducción SIRGAS. Las órbitas precisas y valores precisos de reloj del JPL fueron mantenidos fijos durante el procesamiento.

Las órbitas y relojes precisos del JPL fueron los utilizados ya que es más ventajoso utilizar cálculos precisos de reloj de satélite a la hora de procesar datos con GIPSY II. Los valores de reloj de satélite fueron provistos por las órbitas precisas de IGS (International GPS Service for Geodynamics [Servicio GPS Internacional para la Geodinámica]), pero estos valores no parecen ser tan fiables como los valores de reloj generados por el laboratorio JPL, junto con sus órbitas, cuando se utiliza GIPSY. El laboratorio JPL es uno de los siete centros que presentan órbitas y relojes de satélite precisos al IGS. Las órbitas y los relojes de JPL son altamente ponderados por el IGS al determinar las órbitas finales IGS. En el curso de la campaña SIRGAS, los parámetros medios de transformación para órbitas de IGS a JPL son mínimos (refiérase a la Tabla 2.13). Las órbitas y relojes precisos JPL son de referencia ITRF93 pero, debido a la sutil diferencia en órbitas, la referencia será JPL/ITRF93.

TABLA 2.13: Parámetros medios de transformación entre órbitas IGS y JPL (IGS-JPL)

| Semana GPS | Traslación (cm) |    |    | Rotación (.001'') |       |      | Escala ( $10^{-8}$ ) |
|------------|-----------------|----|----|-------------------|-------|------|----------------------|
|            | TX              | TY | TZ | RX                | RY    | RZ   | S                    |
| 802        | 1               | 4  | 1  | -0.6              | -0.02 | 0.19 | 0.2                  |
| 803        | 1               | 5  | 2  | -0.65             | -0.11 | 0.17 | 0.2                  |

## Compensación del Centro de Fase de Antena (LC)

El centro de fase de L1 y L2 será referido como compensación del centro de fase de antena (LC). La compensación LC es la distancia vertical desde el punto de referencia de la antena (ARP - Antenna Reference Point) hasta el centro de fase LC. La ecuación siguiente, provista por IGS, sirvió en computar la compensación vertical LC de cada antena utilizada.

$$LC = k \cdot L1 - (k - 1) \cdot L2 \text{ donde } k = \frac{154^2}{154^2 - 120^2}$$

de misma forma:

$$LC = 2.546 \cdot L1 - 1.546 \cdot L2$$

Compensaciones LC de antena, con respecto al ARP, fueron aplicadas a las alturas de antenas de estaciones según las especificaciones de IGS Junio de 1996 (refiérase a la Tabla 2.14).

TABLA 2.14: Compensaciones LC de antena (IGS Junio de 1996)

| <b>Antena</b> | <b>Modelo</b>  | <b>Compensación LC</b> |
|---------------|--|------------------------|
| Ashtech       | Geodésica L1/L2 P, Modelo 700228                           | 0.085 metro            |
| Ashtech       | Geodésica L1/L2 P, Modelo 700718<br>Plano terrestre grande | 0.124 metro            |
| Leica         | Interno  | 0.016 metro            |
| Rogue         | Dorne Margolin B<br>Diseño Allen Osborne                   | 0.050 metro            |
| Rogue         | Dorne Margolin R<br>Diseño JPL                             | 0.050 metro            |
| Rogue         | Dorne Margolin T<br>Diseño Allen Osborne                   | 0.082 metro            |
| Trimble       | TR GEOD L1/L2 GP   | 0.084 metro            |
| Trimble       | 4000ST L1/L2 GEOD  | 0.084 metro            |

### **Análisis Cualitativo**

GIPSY II computa errores “un sigma” para todas las soluciones diarias. A continuación, GIPSY II realiza un ajuste de mínimos cuadrados con las soluciones múltiples diarias para cada estación hasta obtener una solución de estación final. La solución combinada resultante incluye errores “un sigma” y repetitibilidades asociadas con ella. Los residuos de soluciones diarias son también calculados con respecto a los valores estimados por el ajuste de mínimos cuadrados. Todos los componentes anteriores fueron utilizados para identificar estaciones problemáticas y valores extraños de solución.

### **Estaciones Problemáticas y Valores Extraños de Solución**

- Estación BALMACEDA - Residuos diarios elevados fueron comprobados durante la campaña de diez días.
- Estación CRICYT - Sólo se procesaron los tres primeros días debido a la cantidad decreciente de mediciones L2 sobre el tiempo.
- Estación LA PLATA - Las sesiones después del día 95/150 no pudieron ser procesadas. Los archivos de datos RINEX después del día 95/150 incluyeron varias interrupciones con épocas de sólo 1 a 3 mediciones a satélites.
- Estación CACHOEIRA - Las sesiones de los días 95/150 y 95/155 produjeron valores extraños de solución y no formaron parte de la computación final de la solución (refiérase a la Tabla 2.15). Los residuos producidos por estas dos sesiones se diferenciaron de las otras ocho en 0,5 m horizontalmente y en más de 3,0 m verticalmente y produjeron errores “un sigma” más altos. Las causas pueden deberse a la altura de la antena, cambios del monumento o del equipo, o a fallas del equipo. Pocos datos fueron producidos. (Note que las alturas de antena utilizadas durante el procesamiento fueron las alturas anotadas en los formularios de informes diarios de la estación). Los archivos de datos RINEX para los días 95/150 y 95/155 compartieron el mismo tamaño que las otras ocho sesiones.

Según la agencia que ocupó el local y los informes diarios de la estación, la antena no fue desplazada y la causa de estas soluciones deficientes sigue sin determinarse.

TABLA 2.15: Residuos diarios (cm) para la estación CACHOEIRA

| Día    | Latitud |              | Longitud |              | Altura Elipsoidal |              |
|--------|---------|--------------|----------|--------------|-------------------|--------------|
|        | Residuo | Error Formal | Residuo  | Error Formal | Residuo           | Error Formal |
| 95/146 | -0.18   | 0.05         | -0.61    | 0.15         | 2.36              | 0.37         |
| 95/147 | -0.10   | 0.06         | 0.00     | 0.16         | 0.61              | 0.37         |
| 95/148 | 0.52    | 0.06         | 1.04     | 0.17         | 2.75              | 0.40         |
| 95/149 | 0.01    | 0.06         | -0.64    | 0.16         | 0.59              | 0.36         |
| 95/150 | -5.91   | 0.58         | 45.12    | 1.32         | -314.97           | 2.31         |
| 95/151 | -0.91   | 0.09         | -3.03    | 0.29         | 5.50              | 0.67         |
| 95/152 | 0.23    | 0.06         | -0.34    | 0.16         | 2.08              | 0.36         |
| 95/153 | 0.05    | 0.05         | -0.06    | 0.16         | 2.38              | 0.35         |
| 95/154 | -0.22   | 0.07         | 0.06     | 0.21         | 4.61              | 0.71         |
| 95/155 | -9.99   | 0.57         | 34.67    | 1.19         | -364.28           | 3.31         |

- Estación PRES. PRUDENTE - Esta estación es similar a la estación CACHOEIRA en que parece que dos días se diferencian de los otros ocho. PRES. PRUDENTE difiere de CACHOEIRA en que los errores “un sigma” son seriamente menores en días 95/150 y 95/152 (refiérase a la Tabla 2.16). La posición computada con los días 95/150 y 95/152 produce una variación de aproximadamente 0,3 m horizontalmente y 1,5 m verticalmente desde la posición computada durante los otros ocho días. (Note que las alturas de antena utilizadas durante el procesamiento fueron las alturas anotadas en los formularios de informes diarios de la estación). Todos los archivos de datos RINEX compartieron el mismo tamaño. Tres posiciones fueran computadas para la estación PRES. PRUDENTE. Una de las posiciones incluye las diez sesiones y las otras dos son subconjuntos des estas sesiones. La segunda posición fue computada con sesiones de los días 95/150 y 95/152 y la tercera posición comprende las ocho sesiones restantes. Los resultados no permiten concluir cual de las posiciones es la correcta. Se recomienda volver a ocupar la estación PRES. PRUDENTE.

TABLA 2.16: Residuos diarios (cm) para la estación PRES. PRUDENTE

| Día    | Latitud |              | Longitud |              | Altura Elipsoidal |              |
|--------|---------|--------------|----------|--------------|-------------------|--------------|
|        | Residuo | Error Formal | Residuo  | Error Formal | Residuo           | Error Formal |
| 95/146 | 9.75    | 0.31         | 26.03    | 0.66         | 149.39            | 1.83         |
| 95/147 | 6.11    | 0.35         | 9.41     | 0.74         | 190.30            | 1.32         |
| 95/148 | 6.17    | 0.27         | 24.82    | 0.58         | 123.53            | 0.99         |
| 95/149 | 2.52    | 0.25         | 26.60    | 0.46         | 108.32            | 0.88         |
| 95/150 | -1.04   | 0.06         | -7.39    | 0.16         | -48.07            | 0.36         |
| 95/151 | 5.18    | 0.29         | 20.00    | 0.59         | 138.23            | 0.95         |
| 95/152 | 0.14    | 0.05         | -7.90    | 0.14         | -49.06            | 0.33         |
| 95/153 | 5.64    | 0.20         | 29.80    | 0.45         | 98.91             | 1.39         |
| 95/154 | 4.78    | 0.21         | 30.99    | 0.45         | 93.76             | 1.03         |
| 95/155 | 3.61    | 0.21         | 30.61    | 0.50         | 65.59             | 0.84         |

- Estación IQUITOS - La sesión del día 95/154 no formó parte de la computación de solución final. La sesión duró menos de diez horas y produjo un alto nivel de residuos y errores.

- Estación SALTA - La sesión del día 95/155 no formó parte de la computación de solución final. La sesión produjo sólo 270 mediciones de código y fase y resultó en un nivel insuficiente de residuos y errores.

#### 2.4.2.4- PARAMETROS DE TRANSFORMACION

Las coordenadas de estación SIRGAS computadas con GIPSY II son de referencia (por omisión) JPL/ITRF93. Una transformación fue necesaria para convertir las coordenadas JPL/ITRF93 a ITRF94.

Las únicas estaciones de alta precisión en Sudamérica, con coordenadas ITRF94 determinadas independientemente, eran cinco estaciones IGS cuyos datos fueron reunidos como parte de la campaña SIRGAS. El Servicio Internacional de Rotación Terrestre (IERS - International Earth Rotation Service) computó las coordenadas ITRF94 para estas estaciones IGS para la época en fecha de 1993.0. El instituto DGFI propagó dichas posiciones a la época de observación (refiérase a Tabla 2.17), 1995.42 utilizando las velocidades de estaciones IGS. Las posiciones ITRF94 de las estaciones IGS fueron entonces verificadas en la agencia NIMA. Habían dos conjuntos de coordenadas para cada una de las estaciones IGS: las coordenadas ITRF94 “verdaderas” derivadas del servicio IERS y las coordenadas JPL/ITRF93 derivadas de la agencia NIMA. Estas fueron utilizadas para derivar un conjunto de parámetros de transformación para los sitios IGS que pudiese entonces servir a convertir todas las coordenadas SIRGAS desde JPL/ITRF93 a ITRF94. Desafortunadamente, el número de grados de libertad disponibles desde cinco estaciones es muy restringido. Ello seguramente afecta la exactitud de los parámetros de transformación. Por otra parte, las estaciones IGS presentan grandes separaciones geográficas que son ventajosas en lo que concierne su capacidad de aplicación a todo el continente. La Figura 2.6 muestra la distribución geográfica de las estaciones IGS.

TABLA 2.17: Coordenadas ITRF94 de estaciones de control IGS, época 1995.42

| Estación              | Código | X (m)        | Y (m)        | Z (m)        |
|-----------------------|--------|--------------|--------------|--------------|
| Arequipa, Perú        | AREQ   | 1942826.725  | -5804070.245 | -1796894.018 |
| Isla de Pascua, Chile | EISL   | -1884951.831 | -5357595.820 | -2892890.498 |
| Fortaleza, Brazil     | FORT   | 4985386.652  | -3954998.583 | -428426.523  |
| Kourou, French Guiana | KOUR   | 3839591.454  | -5059567.548 | 579956.899   |
| Santiago, Chile       | SANT   | 1769693.312  | -5044574.130 | -3468321.076 |

Una transformación de similaridad de siete parámetros fue computada con software de NIMA, conocido como SIMTRAN, y con el utilitario “Transform” de GIPSY II. Los parámetros de transformación establecidos incluyen la translación a X, Y y Z (TX, TY, TZ), la rotación sobre X, Y y Z (RX, RY, RZ) y un factor de escala (S). Las posiciones de estaciones de control en ambos marcos de referencia, JPL/ITRF93 e ITRF94, y sus errores “un sigma” de posición fueron entradas para determinar los parámetros de transformación.

Los parámetros de transformación fueron computados para conjuntos de tres (AREQ, KOUR y SANT), cuatro (AREQ, FORT, KOUR y SANT) y cinco (AREQ, EISL, FORT, KOUR y SANT) estaciones. Los dos programas, SIMTRAN y Transform, produjeron los mismos

resultados. Las diferencias entre las coordenadas transformadas mediante los parámetros derivados de los conjuntos de tres y cuatro estaciones son inferiores a 5 milímetros (refiérase a la Figura 2.7). Las diferencias a nivel de centímetros surgen al comparar las coordenadas transformadas según parámetros derivados del grupo de cinco estaciones con los del grupo de cuatro estaciones y de tres estaciones (refiérase a las Figuras 2.8 y 2.9, respectivamente). Los parámetros de transformación derivados mediante las cinco estaciones IGS se encuentran en la Tabla 2.18.

TABLA 2.18: Parámetros de transformación de JPL/ITRF 93 a ITRF94, época 1995.42, utilizando estaciones IGS AREQ, EISL, FORT, KOUR y SANT

| Translación (cm) |                   |                  | Rotación (.001'') |                    |                    | Escala ( $10^{-8}$ ) |
|------------------|-------------------|------------------|-------------------|--------------------|--------------------|----------------------|
| TX               | TY                | TZ               | RX                | RY                 | RZ                 | S                    |
| $3.680 \pm 1.47$ | $-2.100 \pm 1.53$ | $1.240 \pm 2.36$ | $-1.720 \pm 0.86$ | $-0.804 \pm 0.383$ | $-0.434 \pm 0.563$ | $-0.288 \pm 0.161$   |

La única alternativa viable al proceso anterior era aplicar los parámetros globales de ITRF93 a ITRF94 computados por el servicio IERS a las estaciones sudamericanas. Los parámetros de transformación para la época 1995.42 fueron computados según prescribe [Boucher y Altamimi, 1996], y aparecen en la Tabla 2.19. Estos parámetros de transformación fueron aplicados a las coordenadas JPL/ITRF93 de estaciones SIRGAS con el fin de obtener las coordenadas ITRF94. Las diferencias entre las coordenadas transformadas, basadas en parámetros derivados del grupo de cinco estaciones IGS y en parámetros globales del servicio IERS, son inferiores a 5 centímetros (refiérase a la Figura 2.10). Debido a estas pequeñas diferencias, los parámetros de transformación SIMTRAN (derivados de las cinco estaciones IGS) fueron utilizados para computar las coordenadas finales ITRF94 (refiérase a la Tabla 2.18).

TABLA 2.19: Parámetros de transformación de ITRF 93 a ITRF94 globales, época 1995.42

| Translación (cm) |        |        | Rotación (.001'') |        |        | Escala ( $10^{-8}$ ) |
|------------------|--------|--------|-------------------|--------|--------|----------------------|
| TX               | TY     | TZ     | RX                | RY     | RZ     | S                    |
| 1.5518           | 0.2032 | 0.9064 | 1.2062            | 0.6098 | 0.5890 | -0.04                |

#### 2.4.2.5- RESULTADOS

Las posiciones de punto absoluto y sus errores “un sigma” correspondientes fueron provistos para las 69 estaciones ocupadas durante la campaña SIRGAS. Estos valores no se muestran en este reporte, para evitar confusión con los resultados oficiales, pero están disponibles para consulta en el IBGE o NIMA. La Tabla 2.20 lista los nombres de las estaciones, códigos y número de sesiones procesadas.

Las desviaciones estándar computadas por GIPSY para las coordenadas de estaciones son inferiores o iguales a 2 mm en X, Y y Z para todas las estaciones, con excepción de AREQUIPA ARE1, BALMACEDA y S. J. DE CHIQUITOS. La estación AREQUIPA ARE1 sólo realizó dos sesiones (una de 23 horas y una de 4 horas). AREQUIPA ARE1, BALMACEDA y S. J. DE CHIQUITOS presentan desviaciones estándar de 6 mm o menos en X, Y y Z.

#### 2.4.2.6- RECOMENDACIONES

PRES. PRUDENTE (UEPP) es la única entre 69 estaciones para la que no pudimos presentar una solución fiable. El sitio no ofreció buenos residuos y precisiones en el periodo de diez días. Las estadísticas indican que los días 95/150 y 95/152 produjeron la solución de mayor fiabilidad. Debido al número limitado de sesiones aceptables, se recomienda que PRES. PRUDENTE sea ocupada de nuevo con el fin de establecer una solución exacta para la estación.

#### 2.4.2.7- REFERENCIA

BOUCHER, C. y ALTAMINI, Z.. International Terrestrial Reference Frame. *GPS WORLD*, Volumen 7, Número 9, pp. 71-74, Septiembre de 1996.

TABLA 2.20: Número de sesiones procesadas por el NIMA para cada estación

| ESTACION         | CODIGO | Sesiones Procesadas |
|------------------|--------|---------------------|
| AGUA LINDA       | AGUA   | 9                   |
| ANTOFAGASTA      | ANTO   | 10                  |
| AREQUIPA         | ARE1   | 2                   |
| AREQUIPA         | ARE2   | 2                   |
| AREQUIPA         | AREQ   | 10                  |
| ASUNCION         | ASUN   | 10                  |
| BALMACEDA        | BLMC   | 9                   |
| BOGOTA           | BOGO   | 9                   |
| BOGOTA           | BOGT   | 10                  |
| BOM JESUS LAPA   | BOMJ   | 9                   |
| BRASILIA         | BRAZ   | 10                  |
| CACHOEIRA        | CACH   | 8                   |
| CAMIRI           | CAMI   | 10                  |
| LA CANOA         | CANO   | 10                  |
| CARTAGENA        | CART   | 10                  |
| CARRIEL SUR      | CASU   | 9                   |
| CHAMONATE        | CHAM   | 10                  |
| S.J DE CHIQUITOS | CHIQ   | 3                   |
| CLARA            | CLAR   | 10                  |
| CRICYT           | CRIC   | 10                  |
| CUIABA           | CUIB   | 8                   |
| CURITIBA         | CURI   | 10                  |
| ISLA DE PASCUA   | EISL   | 10                  |
| M ESTIGARRIBIA   | ESTI   | 10                  |
| FORTALEZA MONT   | FEZA   | 4                   |
| FORTALEZA        | FORT   | 10                  |
| GALAPAGOS        | GALA   | 9                   |
| HUICHURAYA       | HUIC   | 10                  |
| CARLOS IBANEZ    | IBAN   | 10                  |
| PUERTO IGUAZU    | IGU2   | 10                  |
| PUERTO IGUAZU    | IGUA   | 10                  |
| IMPERATRIZ       | IMPZ   | 10                  |

TABLA 2.20 (continuación): Número de sesiones procesadas por el NIMA para cada estación

| <b>ESTACION</b> | <b>CODIGO</b> | <b>Sesiones Procesadas</b> |
|-----------------|---------------|----------------------------|
| PTO. INIRIDA    | INIR          | 10                         |
| IQUITOS         | IQUI          | 5                          |
| JUNQUITO        | JUNQ          | 10                         |
| KAMA            | KAMA          | 10                         |
| KOUROU          | KOUR          | 10                         |
| LATACUNGA       | LATA          | 10                         |
| LETICIA         | LETI          | 10                         |
| LIMA            | LIM1          | 10                         |
| LIMA            | LIM2          | 10                         |
| LIMA            | LIMA          | 8                          |
| LOTE 10B        | LO10          | 10                         |
| LOTE 24         | LOTE          | 10                         |
| LA PLATA        | LPGS          | 5                          |
| EL MAITEN       | MAI1          | 10                         |
| EL MAITEN       | MAI2          | 10                         |
| MANAUS          | MANA          | 8                          |
| MARACAIBO       | MAR1          | 9                          |
| MARACAIBO       | MARA          | 10                         |
| MONTEVIDEO      | MONT          | 10                         |
| MORRO           | MORR          | 10                         |
| O'HIGGINS       | OHIG          | 9                          |
| OLLAGUE         | OLLA          | 10                         |
| CURITIBA        | PARA          | 10                         |
| PASTO           | PAST          | 10                         |
| PIURA           | PIUR          | 5                          |
| VILLA ROBLES    | RBLS          | 10                         |
| RIBERALTA       | RIBE          | 10                         |
| RIO GRANDE      | RIO1          | 10                         |
| RIO DE JANEIRO  | RIOD          | 7                          |
| RIO GRANDE      | RIOG          | 10                         |
| SANTIAGO        | SANT          | 10                         |
| SALTA           | UNSA          | 8                          |
| VIÇOSA          | VICO          | 10                         |
| CERRO VIGIA     | VIGI          | 10                         |
| YACARE          | YACA          | 9                          |
| ZAMORA          | ZAMO          | 9                          |



FIGURA 2.6: Distribución geográfica de las estaciones IGS utilizadas para derivar los parámetros de transformación desde ITRF93 a ITRF94

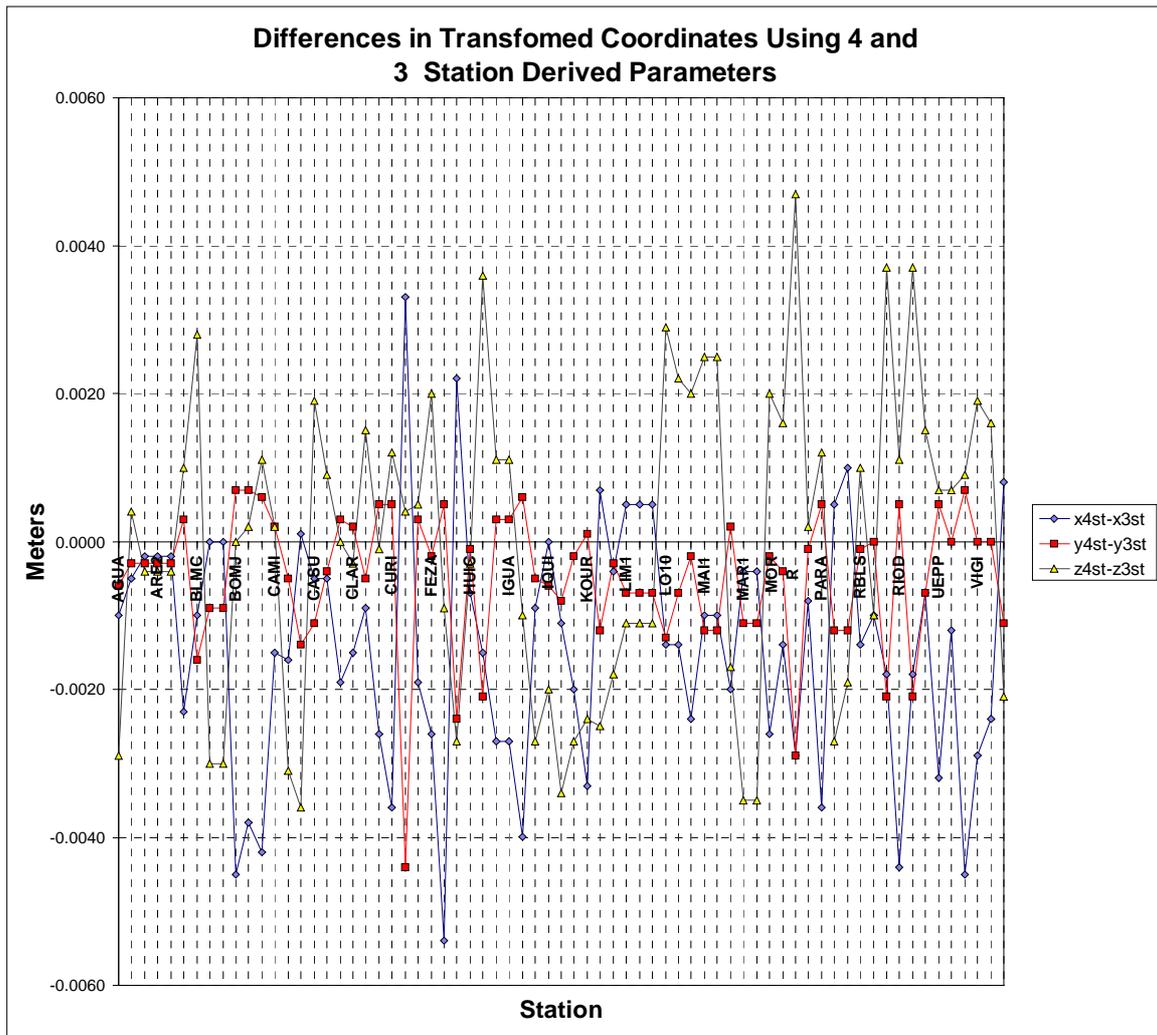


FIGURA 2.7: Representación gráfica de las diferencias en coordenadas transformadas mediante parámetros de 4 estaciones ( $x_{4st}$ ,  $y_{4st}$  y  $z_{4st}$ ) y 3 estaciones ( $x_{3st}$ ,  $y_{3st}$  y  $z_{3st}$ ). Las estaciones son listadas de izquierda a derecha en el mismo orden que en la Tabla 2.20

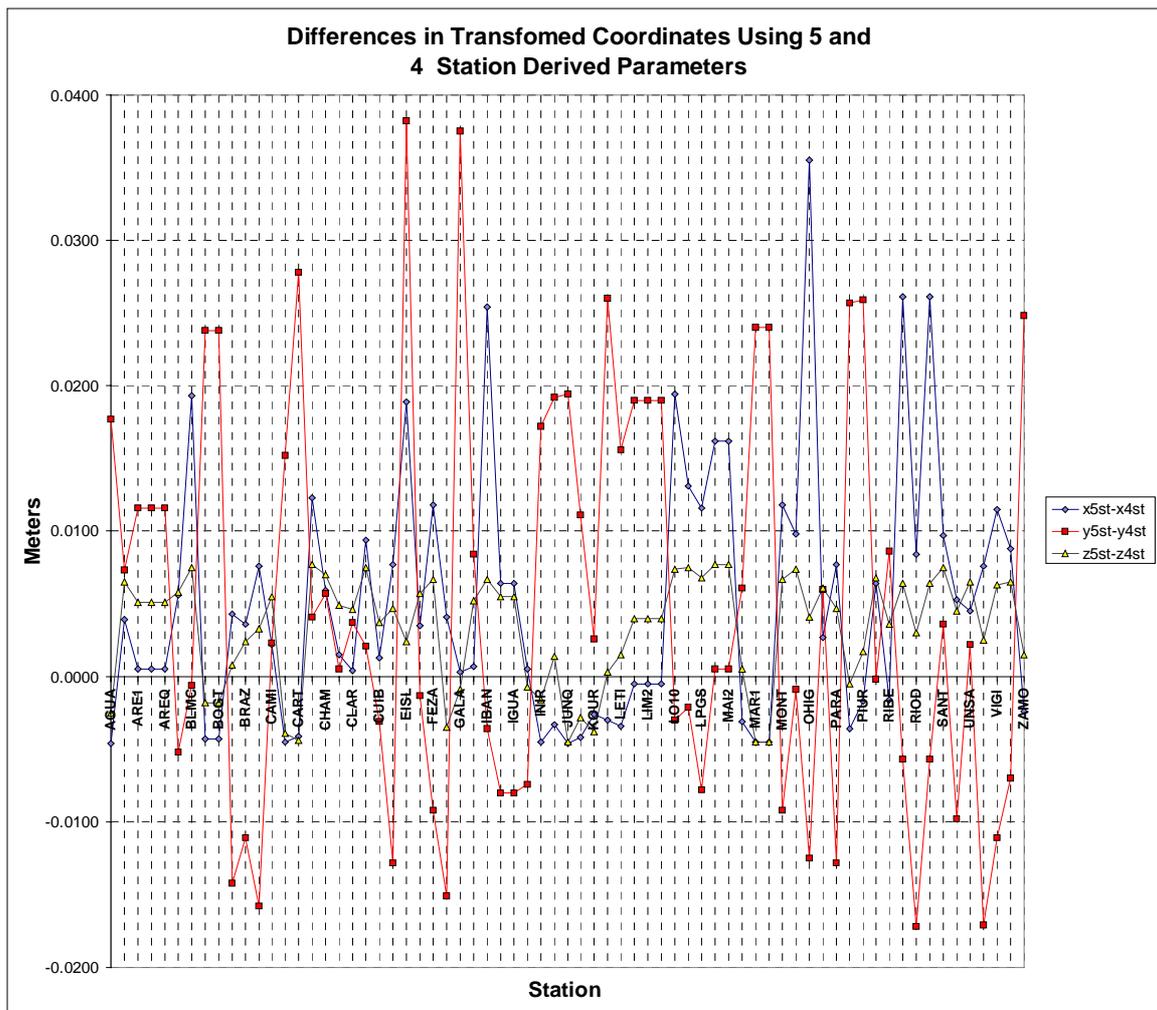


FIGURA 2.8: Representación gráfica de las diferencias en coordenadas transformadas mediante parámetros de 5 estaciones ( $x_{5st}$ ,  $y_{5st}$  y  $z_{5st}$ ) y 4 estaciones ( $x_{4st}$ ,  $y_{4st}$  y  $z_{4st}$ ). Las estaciones son listadas de izquierda a derecha en el mismo orden que en la Tabla 2.20

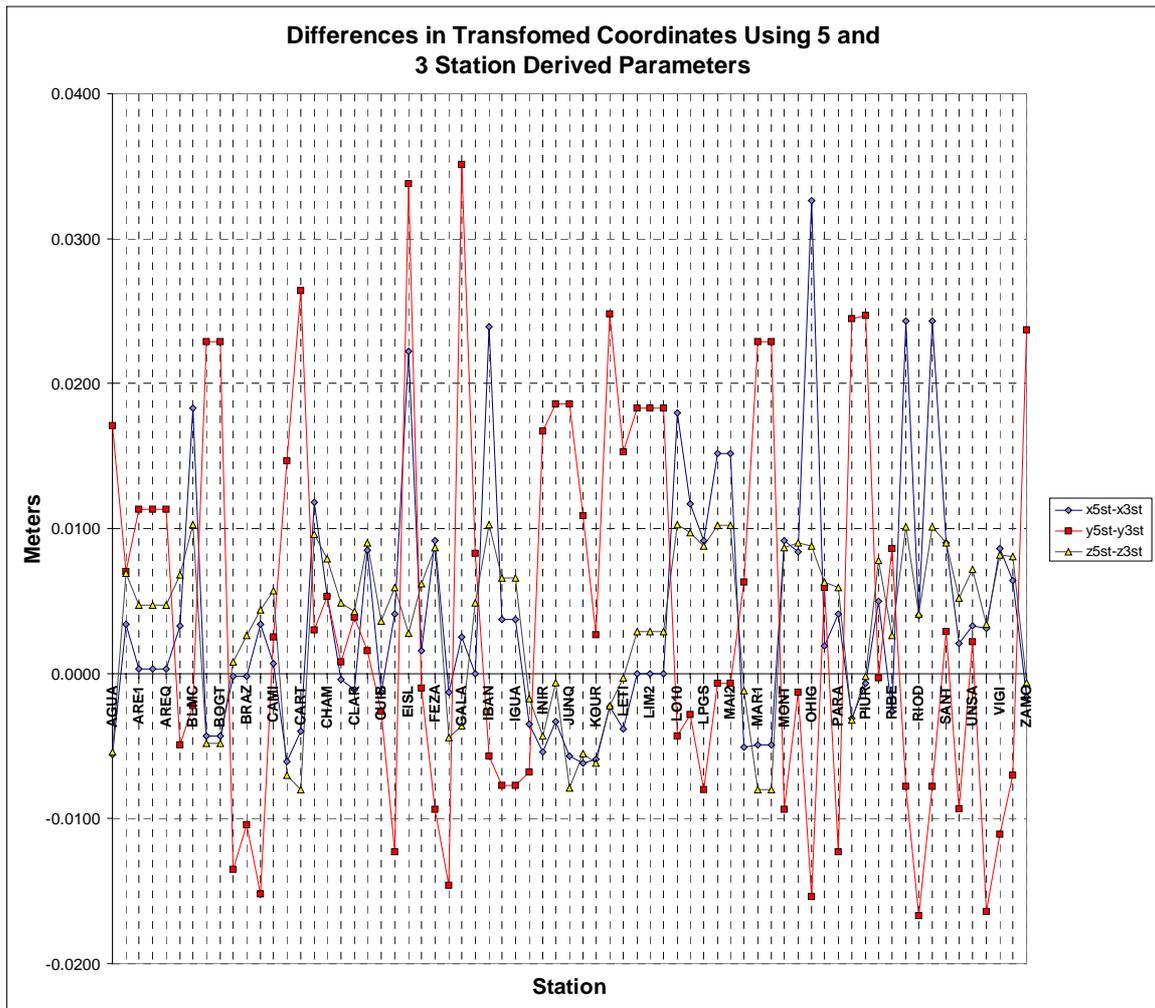


FIGURA 2.9: Representación gráfica de las diferencias en coordenadas transformadas mediante parámetros de 5 estaciones (x5st, y5st y z5st) y 3 estaciones (x3st, y3st y z3st). Las estaciones son listadas de izquierda a derecha en el mismo orden que en la Tabla 2.20

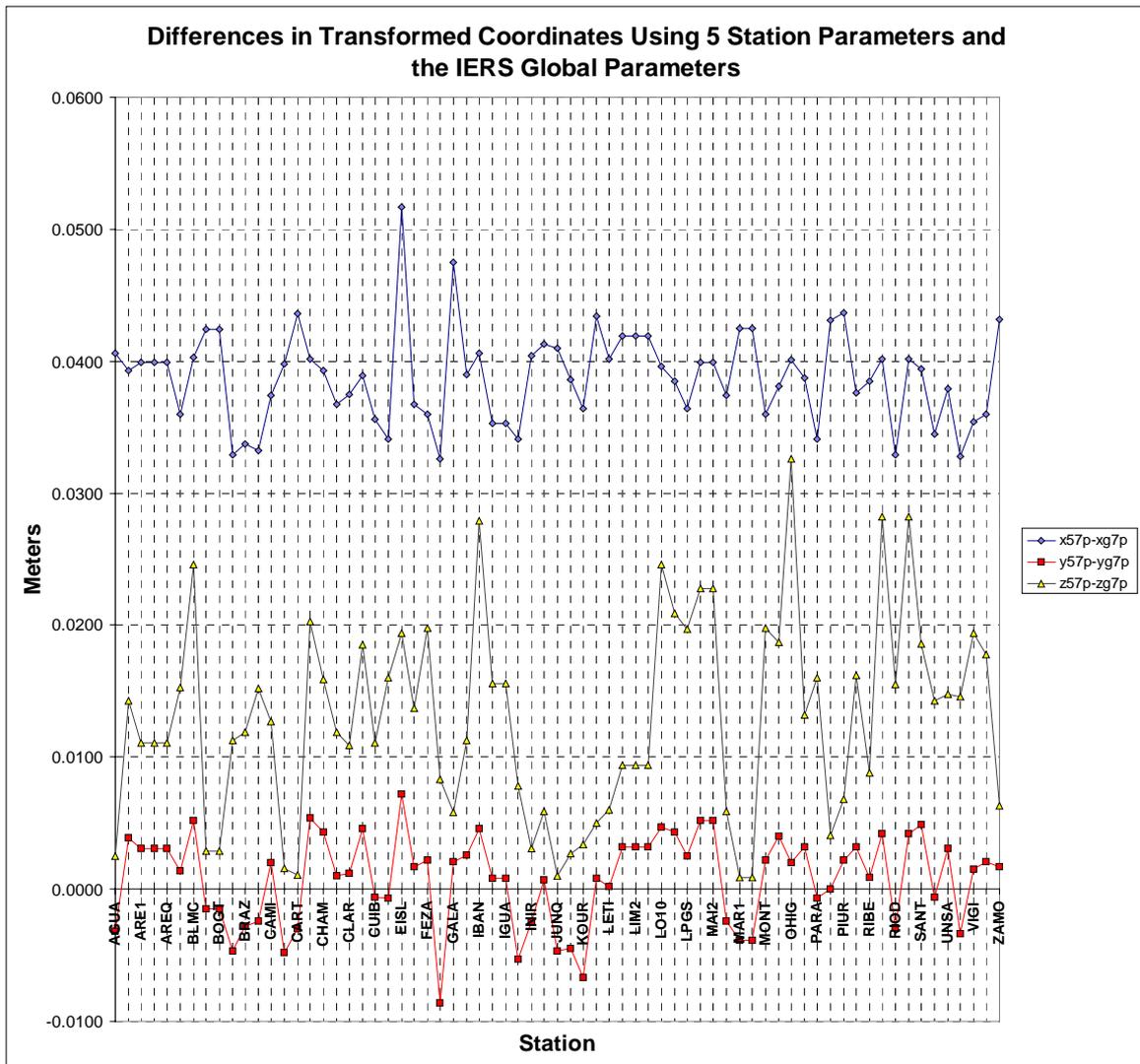


FIGURA 2.10: Representación gráfica de las diferencias en coordenadas transformadas mediante parámetros de 5 estaciones ( $x_{57p}$ ,  $y_{57p}$  y  $z_{57p}$ ) y los parámetros globales del servicio IERS ( $x_{g7p}$ ,  $y_{g7p}$  y  $z_{g7p}$ ). Las estaciones son listadas de izquierda a derecha en el mismo orden que en el la Tabla 2.20

## 2.5- COORDENADAS FINALES DEL MARCO DE REFERENCIA SIRGAS 1995.4

Deutsches Geodaetisches Forschungsinstitut (DGFI) y National Imagery and Mapping Agency (NIMA) calcularon soluciones independientes de la campaña SIRGAS de Mayo-Junio de 1995, referidas a la época 1995.4. DGFI utilizó la versión 3.4 del software Bernese con algunas modificaciones implementadas en el mismo instituto, mientras que NIMA utilizó el software GIPSY-OASIS II. Las coordenadas de las estaciones calculadas en la primera etapa por cada una de las dos instituciones, se obtuvieron en soluciones casi libres y referidas al IERS (International Earth Rotation Service) Terrestrial Reference Frame 1993 (ITRF93), época 1995.4, mediante la fijación de las órbitas de los satélites en aquel sistema. El DGFI utilizó las órbitas precisas combinadas y las correcciones de los relojes suministradas por el International GPS Service for Geodynamics (IGS), mientras que los resultados del NIMA se obtuvieron con las órbitas y correcciones a los relojes del Jet Propulsion Laboratory (JPL). Luego de aplicar una transformación de similaridad de siete parámetros (transformación de Helmert) la diferencia máxima entre las coordenadas del DGFI y del NIMA fue de 3.5 cm. El rms de las diferencias entre las soluciones fue de  $\pm 1.0$  cm en X,  $\pm 1.4$  cm en Y y  $\pm 0.7$  cm en Z.

La solución del DGFI contempló una corrección para la variación del centro de fase de la antena en función del ángulo de elevación para cada tipo de antena utilizada, de acuerdo a la propuesta del IGS (model IGS-01). Esta corrección no está incluida en la solución del NIMA. El error causado por la no inclusión de esta corrección produce, principalmente, una variación constante en las coordenadas (principalmente la altura) para cada tipo de antena, debido a los periodos de observación de aproximadamente 24 horas, lo que provoca el paso de satélites por todos los ángulos de elevación. Se decidió combinar las dos soluciones de la siguiente forma:

1. Calcular una transformación de similaridad de siete parámetros separadamente entre la solución del DGFI y cada una de las cinco sub-redes del NIMA, correspondientes a los diferentes tipos de antenas (Ashtech P 700228, Ashtech P 700718, Leica SR299, Trimble 4000ST/TR GP, Dorne Margolin). Esta transformación tomará en cuenta las pequeñas diferencias provenientes de las correcciones de las antenas, así como las del sistema de referencia.
2. Aplicar la transformación a las coordenadas de las cinco sub-redes del NIMA obtenidas para cada tipo de antena. El rms de las diferencias entre las coordenadas del DGFI y las del NIMA transformadas se reduce a  $\pm 0.7$  cm en X,  $\pm 0.9$  cm en Y y  $\pm 0.6$  cm en Z.
3. Calcular la media de las coordenadas DGFI y las coordenadas NIMA transformadas para obtener un conjunto combinado de coordenadas en el sistema ITRF93.

Las coordenadas finales deberían ser proporcionadas en el sistema ITRF94 (la más reciente materialización del ITRF hasta el momento) de acuerdo a la decisión anterior del Comité SIRGAS. Para cumplir este objetivo, es necesario disponer de un sub-conjunto de estaciones SIRGAS idénticas a las estaciones globales determinadas independientemente en el ITRF94. Usando estas estaciones, se pueden calcular parámetros para transformar las coordenadas SIRGAS del sistema ITRF93 al ITRF94.

Solamente cuatro estaciones (Arequipa, Fortaleza, Kourou y Santiago) en el continente suramericano, con coordenadas referidas a la época 1993.0 y velocidades para extrapolar a la época 1995.4, están incluidas en la solución oficial del ITRF94 calculada por el IERS. Esto se consideró muy poco para derivar una buena transformación de siete parámetros. Dos estaciones cercanas al área del proyecto SIRGAS (Isla de Pascuas y O'Higgins), con coordenadas y velocidades ITRF94 determinadas por el IERS pudieran adicionarse para aumentar el número de estaciones idénticas con la red de referencia SIRGAS. Sin embargo, al hacerlo, se encontraron distorsiones considerables en la red.

El IGS está calculando soluciones ITRF para coordenadas y velocidades de estaciones con una frecuencia mayor que el IERS. Al momento de efectuar los cálculos finales de SIRGAS, estaban disponibles las soluciones 1996 de dos Centros de Análisis IGS, CODE (en Berna) y JPL (en Pasadena), ambas referidas al ITRF94 e incluyendo, adicionalmente, tres estaciones SIRGAS en el continente (Bogotá, Brasilia y La Plata). Las soluciones CODE y JPL son calculadas con los softwares Bernese y GIPSY, respectivamente. Puesto que estos softwares, son casi idénticos con los utilizados por DGFI y NIMA, respectivamente, se decidió usar la media de las coordenadas de las estaciones CODE y JPL (referidas al ITRF94 y extrapoladas para la época 1995.4) como coordenadas fiduciales. Las diferencias máximas entre las componentes de las coordenadas CODE y JPL para las nueve estaciones son 3.6 cm en Bogotá e Isla de Pascuas y 3.8 cm en Santiago. La Tabla 2.21 presenta las coordenadas CODE y JPL para la época 1995.4.

La solución final SIRGAS fue calculada mediante una transformación de similaridad con siete parámetros entre las coordenadas medias CODE/JPL en ITRF94 para la época 1995.4 y las coordenadas combinadas DGFI/NIMA usando las nueve estaciones IGS. Los parámetros de transformación se aplicaron a la solución combinada DGFI/NIMA para generar las coordenadas finales SIRGAS referidas al ITRF94 en la época 1995.4. Los resultados se presentan en la Tabla 2.22 y Tabla 2.23.

TABLA 2.21: Soluciones IGS utilizadas para la transformación SIRGAS a ITRF94

1. Solución Global CODE / Sub conjunto de Suramerica en la época 1995.4

| Estación      | Nombre | X (m)         | Y (m)         | Z (m)         |
|---------------|--------|---------------|---------------|---------------|
| Kourou        | KOUR   | 3839591.4394  | -5059567.5478 | 579956.9204   |
| Bogota        | BOGT   | 1744399.1020  | -6116037.8616 | 512731.6066   |
| Fortaleza     | FORT   | 4985386.6253  | -3954998.5699 | -428426.4967  |
| Easter Island | EISL   | -1884951.8559 | -5357595.8164 | -2892890.4748 |
| O'Higgins     | OHIG   | 1525872.4699  | -2432481.3126 | -5676146.0936 |
| Santiago      | SANT   | 1769693.3142  | -5044574.1362 | -3468321.0558 |
| Arequipa      | AREQ   | 1942826.7156  | -5804070.2441 | -1796893.9806 |
| Brasilia      | BRAZ   | 4115014.1083  | -4550641.5325 | -1741444.0740 |
| La Plata      | LPGS   | 2780102.9819  | -4437418.8639 | -3629404.5978 |

2. Solución Global JPL / Sub conjunto de Suramerica en la época 1995.4

| Estación      | Nombre | X (m)         | Y (m)         | Z (m)         |
|---------------|--------|---------------|---------------|---------------|
| Kourou        | KOUR   | 3839591.4431  | -5059567.5364 | 579956.8960   |
| Bogota        | BOGT   | 1744399.1381  | -6116037.8340 | 512731.5910   |
| Fortaleza     | FORT   | 4985386.6514  | -3954998.5708 | -428426.5246  |
| Easter Island | EISL   | -1884951.8538 | -5357595.8460 | -2892890.5113 |
| O'Higgins     | OHIG   | 1525872.4584  | -2432481.2891 | -5676146.1154 |
| Santiago      | SANT   | 1769693.3174  | -5044574.1386 | -3468321.0935 |
| Arequipa      | AREQ   | 1942826.7299  | -5804070.2525 | -1796894.0139 |
| Brasilia      | BRAZ   | 4115014.1111  | -4550641.5159 | -1741444.1036 |
| La Plata      | LPGS   | 2780102.9739  | -4437418.8473 | -3629404.6230 |

**TABLA 2.22: Coordenadas finales SIRGAS (ITRF94, época 1995.4)**

| Estación                | X (m)        | Sigma | Y (m)        | Sigma | Z (m)        | Sigma |
|-------------------------|--------------|-------|--------------|-------|--------------|-------|
| <b><u>ANTARTIDA</u></b> |              |       |              |       |              |       |
| O'HIGGINS IGS           | 1525872.458  | 0.006 | -2432481.304 | 0.006 | -5676146.102 | 0.006 |
| <b><u>ARGENTINA</u></b> |              |       |              |       |              |       |
| SALTA                   | 2412830.370  | 0.003 | -5271936.696 | 0.003 | -2652209.146 | 0.003 |
| PUERTO IGUAZU           | 3337066.730  | 0.003 | -4688978.550 | 0.004 | -2740427.110 | 0.003 |
| PUERTO IGUAZU 2         | 3337008.782  | 0.003 | -4689046.261 | 0.004 | -2740379.965 | 0.003 |
| VILLA ROBLES            | 2462064.885  | 0.003 | -5074756.607 | 0.003 | -2967964.511 | 0.003 |
| CRICYT                  | 1932215.193  | 0.004 | -5001352.644 | 0.004 | -3444510.828 | 0.003 |
| MORRO                   | 2216022.790  | 0.004 | -4857391.581 | 0.004 | -3479484.155 | 0.003 |
| LA PLATA IGS            | 2780102.979  | 0.004 | -4437418.845 | 0.004 | -3629404.604 | 0.004 |
| LOTE 24                 | 2035975.384  | 0.004 | -4592847.631 | 0.004 | -3916827.408 | 0.004 |
| EL MAITEN 1             | 1529296.195  | 0.004 | -4493524.883 | 0.004 | -4247352.584 | 0.004 |
| EL MAITEN 2             | 1529304.823  | 0.004 | -4493528.637 | 0.004 | -4247346.142 | 0.004 |
| LOTE 10B                | 1627558.482  | 0.004 | -4126035.190 | 0.005 | -4569051.335 | 0.004 |
| RIO GRANDE              | 1429907.729  | 0.005 | -3495354.729 | 0.005 | -5122698.707 | 0.005 |
| RIO GRANDE 2            | 1429883.026  | 0.005 | -3495363.268 | 0.005 | -5122698.772 | 0.005 |
| <b><u>BOLIVIA</u></b>   |              |       |              |       |              |       |
| RIBERALTA               | 2539620.472  | 0.004 | -5723487.984 | 0.003 | -1210304.560 | 0.004 |
| CLARA                   | 2769004.289  | 0.003 | -5478490.464 | 0.003 | -1727517.058 | 0.003 |
| HUICHURAYA              | 2239251.534  | 0.003 | -5678506.612 | 0.003 | -1858125.455 | 0.003 |
| SJ DE CHIQUITOS         | 2965510.326  | 0.003 | -5299418.003 | 0.003 | -1945242.100 | 0.003 |
| CAMIRI                  | 2669199.492  | 0.003 | -5368719.469 | 0.003 | -2173298.384 | 0.003 |
| OLLAGUE                 | 2223873.553  | 0.003 | -5515451.363 | 0.003 | -2309233.470 | 0.003 |
| <b><u>BRASIL</u></b>    |              |       |              |       |              |       |
| MANAUS                  | 3179009.385  | 0.004 | -5518662.101 | 0.004 | -3444401.888 | 0.004 |
| FORTALEZA IGS           | 4985386.661  | 0.005 | -3954998.585 | 0.005 | -428426.515  | 0.005 |
| IMPERATRIZ              | 4289656.485  | 0.004 | -4680884.940 | 0.004 | -606347.402  | 0.004 |
| BOM JESUS LAPA          | 4510195.859  | 0.004 | -4268322.294 | 0.005 | -1453035.370 | 0.004 |
| CUIABA                  | 3430711.398  | 0.003 | -5099641.528 | 0.004 | -1699432.996 | 0.003 |
| BRASILIA IGS            | 4115014.106  | 0.004 | -4550641.513 | 0.004 | -1741444.086 | 0.004 |
| VIÇOSA                  | 4373283.325  | 0.004 | -4059639.008 | 0.005 | -2246959.796 | 0.004 |
| PRES. PRUDENTE          | 3687624.310  | 0.003 | -4620818.571 | 0.004 | -2386880.407 | 0.004 |
| CACHOEIRA               | 4164684.609  | 0.004 | -4162401.036 | 0.004 | -2445011.067 | 0.004 |
| RIO DE JANEIRO          | 4280294.892  | 0.004 | -4034431.192 | 0.005 | -2458141.455 | 0.004 |
| CURITIBA                | 3763751.639  | 0.004 | -4365113.768 | 0.004 | -2724404.755 | 0.004 |
| CURITIBA RM3            | 3763730.301  | 0.004 | -4365122.141 | 0.004 | -2724416.116 | 0.004 |
| <b><u>CHILE</u></b>     |              |       |              |       |              |       |
| ANTOFAGASTA             | 1958449.007  | 0.003 | -5505640.820 | 0.003 | -2547545.258 | 0.003 |
| CHAMONATE               | 1901401.818  | 0.003 | -5343947.505 | 0.003 | -2907705.533 | 0.003 |
| ISLA PASCUA IGS         | -1884951.849 | 0.006 | -5357595.833 | 0.007 | -2892890.495 | 0.006 |
| SANTIAGO IGS            | 1769693.314  | 0.004 | -5044574.146 | 0.004 | -3468321.077 | 0.003 |
| CARRIEL SUR             | 1489934.459  | 0.004 | -4893088.153 | 0.004 | -3797571.442 | 0.004 |
| BALMACEDA               | 1396400.014  | 0.004 | -4220505.197 | 0.005 | -4559036.927 | 0.004 |
| CARLOS IBANEZ           | 1261898.966  | 0.005 | -3633641.363 | 0.005 | -5070719.386 | 0.005 |
| <b><u>COLOMBIA</u></b>  |              |       |              |       |              |       |
| CARTAGENA               | 1567576.223  | 0.005 | -6075260.774 | 0.006 | 1142666.328  | 0.005 |
| BOGOTA IGS              | 1744399.102  | 0.005 | -6116037.852 | 0.005 | 512731.597   | 0.005 |
| BOGOTA 2                | 1744517.537  | 0.005 | -6116052.016 | 0.005 | 512580.716   | 0.005 |
| PUERTO INIRIDA          | 2393740.675  | 0.004 | -5896617.064 | 0.005 | 424900.162   | 0.004 |
| PASTO                   | 1402942.266  | 0.004 | -6221912.708 | 0.005 | 153379.854   | 0.005 |
| LETICIA                 | 2181609.154  | 0.004 | -5975453.400 | 0.004 | -463617.196  | 0.004 |

**TABLA 2.22 (continuación): Coordenadas finales SIRGAS (ITRF94, época 1995.4)**

| Estación               | X (m)       | Sigma | Y (m)        | Sigma | Z (m)        | Sigma |
|------------------------|-------------|-------|--------------|-------|--------------|-------|
| <u>ECUADOR</u>         |             |       |              |       |              |       |
| GALAPAGOS              | -28822.438  | 0.005 | -6377927.538 | 0.006 | -50938.985   | 0.005 |
| LATACUNGA              | 1258247.886 | 0.004 | -6255142.665 | 0.005 | -90040.863   | 0.005 |
| ZAMORA                 | 1221570.888 | 0.004 | -6244846.756 | 0.005 | -448051.413  | 0.004 |
| <u>GUYANA FRANCESA</u> |             |       |              |       |              |       |
| KOUROU IGS             | 3839591.438 | 0.005 | -5059567.532 | 0.005 | 579956.906   | 0.005 |
| <u>PARAGUAY</u>        |             |       |              |       |              |       |
| M. ESTIGARRIBIA        | 2904892.131 | 0.003 | -5152575.382 | 0.003 | -2378537.612 | 0.003 |
| ASUNCION               | 3091071.036 | 0.003 | -4873340.751 | 0.004 | -2707075.517 | 0.003 |
| <u>PERU</u>            |             |       |              |       |              |       |
| IQUITOS                | 1835340.202 | 0.004 | -6094433.069 | 0.004 | -412696.117  | 0.004 |
| PIURA                  | 1034520.169 | 0.004 | -6267349.145 | 0.005 | -573960.395  | 0.004 |
| LIMA                   | 1401316.079 | 0.004 | -6077986.653 | 0.004 | -1328579.858 | 0.004 |
| LIMA 1                 | 1401319.591 | 0.004 | -6077984.752 | 0.004 | -1328584.859 | 0.004 |
| LIMA 2                 | 1401310.782 | 0.004 | -6077987.093 | 0.004 | -1328583.484 | 0.004 |
| AREQUIPA IGS           | 1942826.727 | 0.004 | -5804070.249 | 0.003 | -1796893.994 | 0.004 |
| <u>URUGUAY</u>         |             |       |              |       |              |       |
| YACARE                 | 2959094.220 | 0.003 | -4630116.948 | 0.004 | -3227701.620 | 0.003 |
| MONTEVIDEO             | 2909132.981 | 0.004 | -4355451.209 | 0.004 | -3627801.306 | 0.004 |
| MONTEVIDEO FORT        | 2909138.813 | 0.004 | -4355442.113 | 0.004 | -3627792.918 | 0.004 |
| CERRO VIGIA            | 3153246.746 | 0.004 | -4273958.035 | 0.004 | -3519881.481 | 0.004 |
| <u>VENEZUELA</u>       |             |       |              |       |              |       |
| MARACAIBO              | 1976117.082 | 0.005 | -5948895.246 | 0.006 | 1173592.101  | 0.005 |
| MARACAIBO ASTRO        | 1976095.996 | 0.005 | -5948905.112 | 0.006 | 1173566.073  | 0.005 |
| JUNQUITO               | 2442530.154 | 0.005 | -5779900.001 | 0.006 | 1150758.506  | 0.005 |
| LA CANOA               | 2778756.644 | 0.005 | -5662504.745 | 0.005 | 943998.865   | 0.005 |
| AGUA LINDA             | 2432526.685 | 0.005 | -5859980.898 | 0.005 | 649900.202   | 0.005 |
| KAMA                   | 3058874.046 | 0.004 | -5566111.193 | 0.005 | 595136.405   | 0.004 |

## OBSERVACIONES

ANTOFAGASTA : coordenadas se refieren a la posición antes del terremoto de 1995  
 BALMACEDA : basada solamente en la solución DGFI  
 BOGOTA IGS : basada solamente en la solución NIMA  
 PRES. PRUDENTE : basada solamente en la solución DGFI  
 SJ DE CHIQUITOS : basada solamente en la solución NIMA incluyendo 3 días de observaciones

Los rms (sigma) resultan principalmente de errores en la transformación de siete parámetros (Helmert).

**TABLA 2.23: Coordenadas finales SIRGAS (coordenadas elipsoidales transformadas a GRS80)**

| Estación         | Latitud [° ' "] | $\sigma$ ["] | Longit. [° ' "] | $\sigma$ ["] | Altura [m] | $\sigma$ [m] |
|------------------|-----------------|--------------|-----------------|--------------|------------|--------------|
| <u>ANTARTIDA</u> |                 |              |                 |              |            |              |
| O'HIGGINS IGS    | -63 19 14.6052  | .0002        | -57 54 1.2284   | .0002        | 30.680     | .006         |
| <u>ARGENTINA</u> |                 |              |                 |              |            |              |
| SALTA            | -24 43 38.8473  | .0001        | -65 24 27.5176  | .0001        | 1257.793   | .003         |
| PUERTO IGUAZU    | -25 36 42.4710  | .0001        | -54 33 40.2665  | .0001        | 192.455    | .004         |
| PUERTO IGUAZU 2  | -25 36 40.7866  | .0001        | -54 33 43.3656  | .0001        | 191.523    | .004         |
| VILLA ROBLES     | -27 54 42.5691  | .0001        | -64 7 9.2298    | .0001        | 193.237    | .003         |
| CRICYT           | -32 53 36.4993  | .0001        | -68 52 35.5183  | .0001        | 858.974    | .004         |
| MORRO            | -33 16 8.1598   | .0001        | -65 28 36.2638  | .0001        | 1000.942   | .004         |
| LA PLATA IGS     | -34 54 24.2868  | .0001        | -57 55 56.2773  | .0001        | 29.859     | .004         |
| LOTE 24          | -38 7 41.4754   | .0001        | -66 5 33.5196   | .0001        | 293.177    | .004         |
| EL MAITEN 1      | -42 0 50.0779   | .0001        | -71 12 17.4606  | .0001        | 897.413    | .004         |
| EL MAITEN 2      | -42 0 49.7854   | .0001        | -71 12 17.1582  | .0001        | 897.807    | .004         |
| LOTE 10B         | -46 2 32.7031   | .0001        | -68 28 21.7818  | .0001        | 736.102    | .004         |
| RIO GRANDE       | -53 47 7.7034   | .0001        | -67 45 4.0261   | .0001        | 32.024     | .005         |
| RIO GRANDE 2     | -53 47 7.7425   | .0001        | -67 45 5.4515   | .0001        | 31.220     | .005         |
| <u>BOLIVIA</u>   |                 |              |                 |              |            |              |
| RIBERALTA        | -11 0 42.0239   | .0001        | -66 4 20.0219   | .0001        | 161.832    | .003         |
| CLARA            | -15 49 6.4814   | .0001        | -63 11 11.4235  | .0001        | 394.903    | .003         |
| HUICHURAYA       | -17 2 17.1172   | .0001        | -68 28 43.6543  | .0001        | 4305.179   | .003         |
| SJ DE CHIQUITOS  | -17 52 24.9991  | .0001        | -60 46 8.3487   | .0001        | 542.279    | .003         |
| CAMIRI           | -20 2 53.2392   | .0001        | -63 33 52.3039  | .0001        | 1739.485   | .003         |
| OLLAGUE          | -21 21 6.0096   | .0001        | -68 2 25.1467   | .0001        | 4205.162   | .003         |
| <u>BRASIL</u>    |                 |              |                 |              |            |              |
| MANAUS           | -3 6 58.1436    | .0001        | -60 3 21.7098   | .0001        | 40.177     | .004         |
| FORTALEZA IGS    | -3 52 38.8070   | .0001        | -38 25 32.2037  | .0001        | 19.495     | .005         |
| IMPERATRIZ       | -5 29 30.3607   | .0001        | -47 29 50.0434  | .0001        | 105.041    | .004         |
| BOM JESUS LAPA   | -13 15 20.0125  | .0001        | -43 25 18.2455  | .0001        | 419.413    | .004         |
| CUIABA           | -15 33 18.9491  | .0001        | -56 4 11.5191   | .0001        | 237.428    | .004         |
| BRASILIA IGS     | -15 56 50.9135  | .0001        | -47 52 40.3270  | .0001        | 1106.027   | .004         |
| VIÇOSA           | -20 45 41.4042  | .0001        | -42 52 11.9609  | .0001        | 665.962    | .004         |
| PRES. PRUDENTE   | -22 7 11.6594   | .0001        | -51 24 30.7216  | .0001        | 430.945    | .004         |
| CACHOEIRA        | -22 41 13.0605  | .0001        | -44 59 3.4351   | .0001        | 620.300    | .004         |
| RIO DE JANEIRO   | -22 49 4.2423   | .0001        | -43 18 22.5946  | .0001        | 8.647      | .004         |
| CURITIBA         | -25 26 54.1291  | .0001        | -49 13 51.4368  | .0001        | 925.759    | .004         |
| CURITIBA RM3     | -25 26 54.5685  | .0001        | -49 13 52.2108  | .0001        | 923.785    | .004         |
| <u>CHILE</u>     |                 |              |                 |              |            |              |
| ANTOFAGASTA      | -23 41 46.8414  | .0001        | -70 25 7.2198   | .0001        | 54.676     | .003         |
| CHAMONATE        | -27 17 51.2227  | .0001        | -70 24 51.1223  | .0001        | 329.358    | .003         |
| ISLA PASCUA IGS  | -27 8 53.5518   | .0002        | -109 22 59.8656 | .0002        | 114.530    | .007         |
| SANTIAGO IGS     | -33 9 1.0430    | .0001        | -70 40 6.8020   | .0001        | 723.062    | .004         |
| CARRIEL SUR      | -36 46 35.4231  | .0001        | -73 3 52.6469   | .0001        | 25.652     | .004         |
| BALMACEDA        | -45 54 52.6813  | .0001        | -71 41 33.5085  | .0001        | 537.013    | .004         |
| CARLOS IBANEZ    | -53 0 7.4753    | .0001        | -70 50 55.6651  | .0001        | 46.099     | .005         |
| <u>COLOMBIA</u>  |                 |              |                 |              |            |              |
| CARTAGENA        | 10 23 22.7500   | .0002        | -75 31 54.3584  | .0002        | -4.460     | .006         |
| BOGOTA IGS       | 4 38 24.2573    | .0001        | -74 4 51.3831   | .0001        | 2577.065   | .005         |
| BOGOTA 2         | 4 38 19.2421    | .0001        | -74 4 47.8153   | .0001        | 2610.816   | .005         |
| PUERTO INIRIDA   | 3 50 43.5774    | .0001        | -67 54 18.8355  | .0001        | 95.051     | .005         |
| PASTO            | 1 23 12.6606    | .0001        | -77 17 35.5918  | .0001        | 1841.733   | .005         |
| LETICIA          | -4 11 47.1293   | .0001        | -69 56 35.1830  | .0001        | 95.617     | .004         |

**TABLA 2.23 (continuación): Coordenadas finales SIRGAS (transformadas a GRS80)**

| Estación               | Latitud [° ' "] | $\sigma$ ["] | Longit. [° ' "] | $\sigma$ ["] | Altura [m] | $\sigma$ [m] |
|------------------------|-----------------|--------------|-----------------|--------------|------------|--------------|
| <u>ECUADOR</u>         |                 |              |                 |              |            |              |
| GALAPAGOS              | -0 27 38.4376   | .0001        | -90 15 32.1232  | .0001        | 60.448     | .006         |
| LATACUNGA              | -0 48 50.2237   | .0001        | -78 37 35.3902  | .0001        | 2941.238   | .005         |
| ZAMORA                 | -4 3 17.1494    | .0001        | -78 55 55.1269  | .0001        | 926.353    | .005         |
| <u>GUYANA FRANCESA</u> |                 |              |                 |              |            |              |
| KOUROU IGS             | 5 15 7.8481     | .0001        | -52 48 21.4529  | .0001        | -25.769    | .005         |
| <u>PARAGUAY</u>        |                 |              |                 |              |            |              |
| M. ESTIGARRIBIA        | -22 2 22.2088   | .0001        | -60 35 12.4512  | .0001        | 185.642    | .003         |
| ASUNCION               | -25 16 43.7807  | .0001        | -57 36 49.6439  | .0001        | 92.858     | .004         |
| <u>PERU</u>            |                 |              |                 |              |            |              |
| IQUITOS                | -3 44 5.3642    | .0001        | -73 14 25.1186  | .0001        | 111.507    | .004         |
| PIURA                  | -5 11 51.5298   | .0001        | -80 37 37.1561  | .0001        | 71.839     | .005         |
| LIMA                   | -12 6 10.8495   | .0001        | -77 1 1.1465    | .0001        | 156.557    | .004         |
| LIMA 1                 | -12 6 11.0159   | .0001        | -77 1 1.0192    | .0001        | 156.566    | .004         |
| LIMA 2                 | -12 6 10.9701   | .0001        | -77 1 1.3205    | .0001        | 156.573    | .004         |
| AREQUIPA IGS           | -16 27 55.8518  | .0001        | -71 29 34.0500  | .0001        | 2488.934   | .003         |
| <u>URUGUAY</u>         |                 |              |                 |              |            |              |
| YACARE                 | -30 35 53.4227  | .0001        | -57 25 2.9022   | .0001        | 145.696    | .004         |
| MONTEVIDEO             | -34 53 17.9507  | .0001        | -56 15 35.5758  | .0001        | 158.083    | .004         |
| MONTEVIDEO FORT        | -34 53 17.8077  | .0001        | -56 15 35.1859  | .0001        | 149.738    | .004         |
| CERRO VIGIA            | -33 42 38.1770  | .0001        | -53 34 50.8216  | .0001        | 165.691    | .004         |
| <u>VENEZUELA</u>       |                 |              |                 |              |            |              |
| MARACAIBO              | 10 40 26.3189   | .0002        | -71 37 27.9533  | .0002        | 28.424     | .006         |
| MARACAIBO ASTRO        | 10 40 25.4701   | .0002        | -71 37 28.7141  | .0002        | 26.272     | .006         |
| JUNQUITO               | 10 27 38.3983   | .0002        | -67 5 29.5734   | .0002        | 2016.965   | .006         |
| LA CANOA               | 8 34 5.8707     | .0001        | -63 51 41.2668  | .0001        | 153.365    | .005         |
| AGUA LINDA             | 5 53 15.2317    | .0001        | -67 27 22.5248  | .0001        | 89.947     | .005         |
| KAMA                   | 5 23 20.6412    | .0001        | -61 12 31.9163  | .0001        | 1116.734   | .005         |

### OBSERVACIONES

Los parámetros elipsoidales utilizados son:  $a = 6378137.000$  m,  $f = 1 : 298.2572221$

Las alturas presentadas son alturas elipsoidales.

## **2.6- USO FUTURO DE LAS COORDENADAS DEL MARCO DE REFERENCIA SIRGAS**

### **2.6.1- INTRODUCCION**

Uno de los objetivos principales del proyecto SIRGAS es el de establecer y mantener una red de referencia continental que materialice el sistema de referencia geocéntrico mediante un marco de estaciones posicionadas precisamente. La razón principal para este objetivo es la aplicación de técnicas satelitales globales (ej. GPS) en el posicionamiento geodésico. La determinación de posiciones de estaciones terrestres a partir de observaciones geodésicas satelitales, requiere que haya consistencia entre el sistema de referencia satelital y el terrestre. Como las órbitas satelitales se calculan, generalmente, en el marco de referencia del IERS (ITRF, el cual actualmente es prácticamente idéntico con el WGS 84 actualizado), necesitamos las coordenadas de puntos fiduciales terrestres en el mismo sistema. Este requerimiento, en principio, se satisface al proporcionar las coordenadas SIRGAS en el ITRF.

La red SIRGAS se observó en Mayo/Junio de 1995 (lo cual corresponde a la época  $t_0 = 1995.4$ ). Las coordenadas de las estaciones se refieren por lo tanto a esta época específica. Las estaciones materializadas en la superficie de la tierra, sin embargo, se están moviendo debido a los movimientos recientes de la corteza terrestre. En consecuencia las coordenadas de las estaciones terrestres no son validas para una época diferente a 1995.4. Por otro lado, las órbitas de los satélites no están afectados por los movimientos de la corteza, es decir, el marco de referencia terrestre está diferenciándose del marco de referencia satelital. En la red global ITRF, este factor se toma en cuenta proporcionando las componentes de velocidad para cada estación en conjunto con sus coordenadas para una época de referencia específica. Las órbitas precisas de los satélites son calculadas a partir de observaciones en estaciones globales de seguimiento con sus coordenadas en el tiempo actual de observación derivadas de las coordenadas de la época de referencia mas el movimiento hasta la época de observación (velocidad multiplicada por el intervalo de tiempo).

El mantenimiento del marco de referencia SIRGAS incluye, por lo tanto, aparte de la conservación física del monumento, la evolución en el tiempo de las coordenadas, de manera de garantizar la consistencia entre el sistema de referencia terrestre (SIRGAS) y el satelital. Para este fin, se requieren para cada estación las componentes de velocidad  $\underline{V}$  (es decir, cambios en las coordenadas  $dX/dt$ ,  $dY/dt$ ,  $dZ/dt$ ). Estas velocidades podrían derivarse a partir de observaciones repetidas y determinación de las coordenadas o a partir de modelos de deformación de la corteza.

### **2.6.2- VELOCIDADES DE LAS ESTACIONES A PARTIR DE OBSERVACIONES REPETIDAS**

Las estaciones del Servicio GPS Internacional para Geodinámica (IGS) incluidas en la red SIRGAS están equipadas con receptores GPS que operan permanentemente. Los conjuntos de datos de las observaciones se evalúan rutinariamente proporcionando semanalmente coordenadas para las estaciones. La organización del IGS distingue entre dos clases de estaciones (IGS 1997): estaciones globales IGS y estaciones regionales IGS. Las observaciones de las estaciones globales son procesadas por siete Centros de Análisis (AC) y

combinadas en una solución común por tres Centros de Análisis Asociados a la Red Global (GNAAC), mientras que las observaciones de las estaciones regionales, son procesadas por seis Centros de Análisis Asociados a la Red Regional (RNAAC). Todos los conjuntos de datos, tanto regionales como globales, son combinados por dos GNAAC, en una solución conocida como “poliedro” (P-SINEX), la cual incluye actualmente mas de 120 estaciones.

Para Suramerica, el RNAAC SIR (es decir, SIRGAS) operado por el DGFI está procesando continuamente todos los datos disponibles de las estaciones de observación permanentes que existen en la región, las cuales en la actualidad (Mayo 1997) son catorce estaciones SIRGAS. Entonces, el resultado se combina con otros por los centros GNAAC para la solución global poliedro. De esta forma, obtenemos semanalmente coordenadas ITRF para todas las estaciones SIRGAS incluidas que están observando permanentemente pudiéndose, además, derivar las velocidades de las estaciones. Por lo tanto, es altamente recomendable, auxiliar este procedimiento mediante la instalación permanente de tantos receptores GPS como sea posible en las estaciones SIRGAS. Información adicional, al respecto, puede obtenerse del IGS o del RNAAC SIR.

Para derivar las velocidades de estaciones no equipadas con receptores GPS permanentes, necesitamos al menos una (preferiblemente mas de una) medición de repetición (campaña GPS) en el tiempo  $t_i$  para otra determinación de coordenadas. A partir de los cambios de coordenadas  $\underline{\Delta X}$  ( $\Delta X, \Delta Y, \Delta Z$ ) =  $\underline{X}(t_i) - \underline{X}(t_0)$  divididos por el intervalo de tiempo  $\Delta t$ , obtenemos las velocidades  $\underline{V}$  ( $V_X, V_Y, V_Z$ ):

$$\underline{V} = \underline{\Delta X} / \Delta t . \quad (1)$$

Para mejorar la exactitud de las estimaciones de velocidad, el intervalo de tiempo entre las campañas no debería ser muy corto. Cinco años parece ser un intervalo apropiado.

### 2.6.3- VELOCIDADES DE LAS ESTACIONES A PARTIR DE MODELOS DE DEFORMACION DE LA CORTEZA

Mientras no haya habido determinación de las coordenadas por repetición, las velocidades de las estaciones no se pueden calcular empíricamente. Con la finalidad de derivar los cambios en las coordenadas con respecto al tiempo, deben utilizarse modelos de aproximación. Un modelo muy familiar es el de las placas tectónicas. Las deformaciones globales de la corteza son descritas en primera aproximación por el movimiento de placas rígidas (segmentos esféricos del globo). Estos movimientos pueden expresarse para cada punto de la placa mediante la rotación sobre una esfera con los vectores de rotación geocéntrica  $\underline{\Omega}$  ( $\Omega_X, \Omega_Y, \Omega_Z$ ). La velocidad de la estación  $\underline{V}$  ( $V_X, V_Y, V_Z$ ) para una estación de coordenadas X, Y, Z es entonces

$$\begin{aligned} V_X &= \Omega_Y \cdot Z - \Omega_Z \cdot Y \\ V_Y &= \Omega_Z \cdot X - \Omega_X \cdot Z \\ V_Z &= \Omega_X \cdot Y - \Omega_Y \cdot X . \end{aligned} \quad (2)$$

El IERS adoptó el modelo cinemático de las placas NNR NUVEL-1A para todas las estaciones para las cuales la velocidad no ha sido hasta ahora determinada en el

ITRF (McCarthy 1996). El continente suramericano está cubierto, según este modelo, por dos placas, la Suramericana y la del Caribe. Las islas del Pacífico (estaciones SIRGAS Galápagos e Isla de Pascuas) están situadas en la placa de Nazca y la estación O'Higgins en la placa del Antártico. Los parámetros de rotación de estas placas se presentan en la Tabla 2.24.

TABLA 2.24: Vectores de rotación NNR NUVEL-1A para SIRGAS (McCarthy, 1996)

| Placa         | $\Omega_X$ [rad/10 <sup>9</sup> a] | $\Omega_Y$ [rad/10 <sup>9</sup> a] | $\Omega_Z$ [rad/10 <sup>9</sup> a] |
|---------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| Suramericana  | -1.038                             | -1.515                             | -0.870                             |
| del Caribe    | -0.178                             | -3.385                             | 1.581                              |
| de Nazca      | -1.532                             | -8.577                             | 9.609                              |
| del Antártico | -0.821                             | -1.701                             | 3.706                              |

Se ha establecido que la hipótesis de las placas rígidas solo es una aproximación para el modelaje de los movimientos recientes de la corteza, es decir, las velocidades modeladas de las estaciones podrían diferir del movimiento real de las mismas. Esto se aplica especialmente a lo largo de los límites de placas donde existen deformaciones regionales considerables, por lo tanto los límites de placas no pueden modelarse como placas rígidas. La Figura 2.11 presenta el modelo global de las placas con los límites conocidos entre ellas. Claramente se identifica toda la parte occidental del continente suramericano a lo largo de la cordillera andina como una extensa zona de deformación. En esta región no se puede utilizar el polo de rotación dado para la placa suramericana en la Tabla 2.24. Una mejor aproximación sería un vector de rotación regional derivado de observaciones geodésicas espaciales (Drewes 1996).

$$\text{Zona Andina: } \Omega_X = -1.0 \text{ rad/10}^9\text{a}, \Omega_Y = -4.0 \text{ rad/10}^9\text{a}, \Omega_Z = 1.4 \text{ rad/10}^9\text{a}$$

La diferencia entre las velocidades de las estaciones calculadas en los Andes centrales utilizando este vector de rotación en lugar del vector de rotación para toda Suramérica (Tabla 2.24) es de 2 cm/a, lo cual significa que en cinco años obtendremos una diferencia de 10 cm. Por lo tanto es altamente recomendable, determinar las velocidades verdaderas de las estaciones en esta área mediante la determinación de coordenadas por mediciones repetidas.

Aparte de las deformaciones continuas tenemos también que considerar movimientos no continuos del terreno como por ejemplo los producidos por terremotos. Un ejemplo es el terremoto ocurrido en Antofagasta, Chile, el 30 de Julio de 1995, exactamente dos meses después de la campaña GPS SIRGAS, donde se han observado desplazamientos horizontales de hasta 70 cm (Ruegg et al., 1996). Las coordenadas SIRGAS tiene que ser corregidas por estos movimientos antes de ser utilizadas como un marco de referencia.

#### **2.6.4- EL USO DE LAS COORDENADAS SIRGAS COMO MARCO DE REFERENCIA**

A continuación se tratarán de resumir las recomendaciones más importantes para el uso de las coordenadas SIRGAS como estaciones fiduciales para el posicionamiento geodésico preciso en Suramérica utilizando técnicas espaciales como GPS. Se asume que se ha efectuado una campaña de observación en el tiempo  $t_i$ , ocupando simultáneamente estaciones SIRGAS y

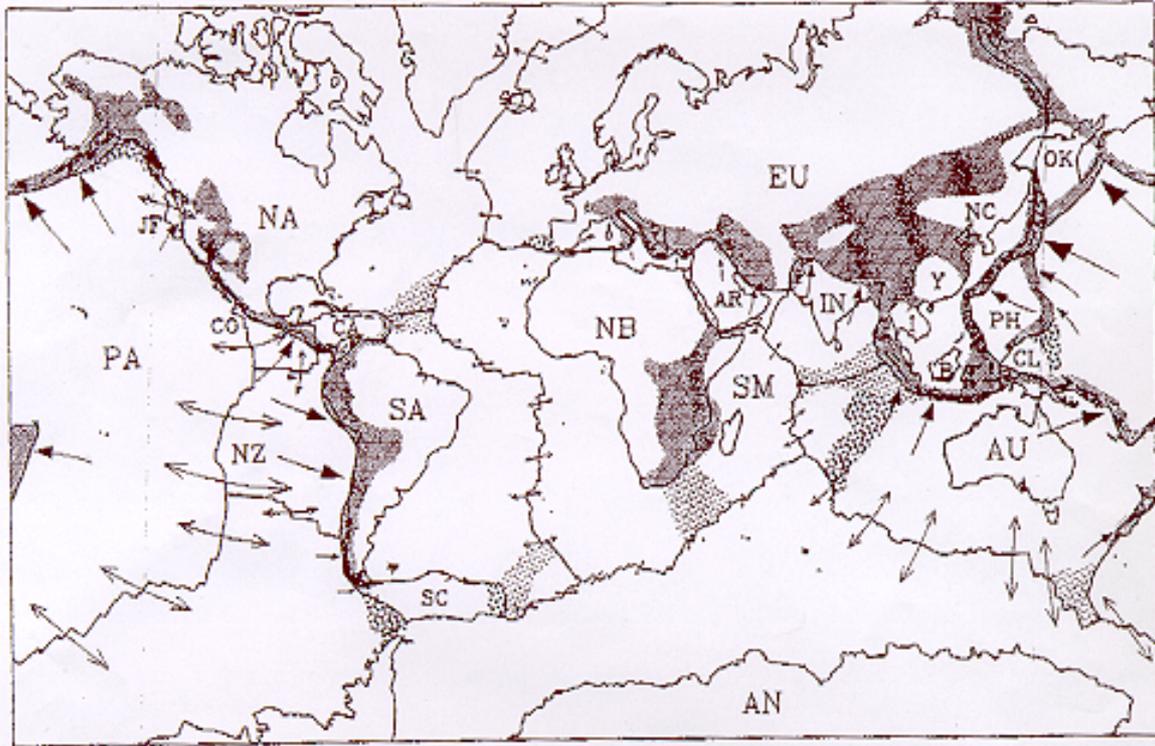


FIGURA 2.11: Placas litosféricas globales y zonas de deformación en los límites (Gordon 1995)

nuevas estaciones. El resultado del procesamiento de los datos debe ser coordenadas de las nuevas estaciones en el sistema de referencia SIRGAS, por ejemplo para la densificación nacional del marco de referencia SIRGAS (= ITRF).

Los siguientes pasos deben cumplirse cuando se usan coordenadas SIRGAS en el procesamiento de los datos:

1. Extrapolar las coordenadas SIRGAS de las estaciones S utilizadas como fiduciales (puntos de conexión) de la época 1995.4 a la época de observación  $t_i$  con las velocidades  $\underline{V}_S$  derivadas de observaciones repetidas o de modelos de deformación:

$$\underline{X}_S(t_i) = \underline{X}_S(1995.4) + \underline{V}_S \cdot (t_i - 1995.4).$$

2. Realizar el ajuste de las coordenadas utilizando las observaciones de la época  $t_i$  en conexión con las coordenadas SIRGAS  $\underline{X}(t_i)$ .
3. Transformar las coordenadas de las estaciones N desde la época de observación  $t_i$  de regreso a la época de referencia  $t_0 = 1995.4$  de manera de obtener un conjunto de coordenadas homogéneo en la época SIRGAS:

$$\underline{X}_N(1995.4) = \underline{X}_N(t_i) - \underline{V}_N \cdot (t_i - 1995.4).$$

Como las velocidades  $\underline{V}_N$  de las nuevas estaciones generalmente no son conocidas, estas deben derivarse de modelos de deformación.

En particular, los últimos problemas mencionados demuestran la necesidad de la inclusión de un modelo de deformación de la corteza en el sistema de referencia SIRGAS. Si no se reducen nuevas coordenadas (valido para aquellas observaciones de la época  $t_i$ ) a la época de referencia  $t_0$ , obtendríamos un conjunto no homogéneo de coordenadas referidas a diferentes épocas. La diferencia es 1 a 2 cm por año de la época de referencia 1995.4. Para realizar la reducción necesitamos un modelo de deformación continuo para todo el continente. Es altamente recomendable apoyar los proyectos para el control y modelaje de las deformaciones de la corteza en Suramerica.

#### **2.6.5- REFERENCIAS**

DREWES, H.. Sistema de referencia cinemático global incluyendo un modelo del movimiento actual de las placas tectónicas. IV Congreso Internacional de Ciencias de la Tierra, p. 230, Santiago de Chile 1996.

GORDON, R.G.. Present plate motions and plate boundaries. In: T.J. Ahrens (ed.): Global Earth Physics, A Handbook of Physical Constants. AGU Reference shelf 1, 66-87, 1995.

International GPS Service for Geodynamics (IGS). 1996 Annual Report. IGS Central Bureau, JPL Pasadena, 1997.

MCCARTHY, D.D. (editor). IERS Conventions (1996). IERS Paris, Technical Note No. 21, 1996.

RUEGG, J.C. y 14 otros. The M=8.1 Antofagasta (N. Chile) earthquake of July 30, 1995: First results from teleseismic and geodetic data. Geoph. Res. Lett. (23), 917-920, 1996.

## **CAPITULO 3**

### **GRUPO DE TRABAJO II: DATUM GEOCENTRICO**

#### **3.1- INTRODUCCION**

El Grupo de Trabajo II (GT II) "DATUM GEOCENTRICO", es parte integrante del proyecto "SISTEMA DE REFERENCIA GEOCENTRICO PARA AMERICA DEL SUR" (SIRGAS). La misión que se le asignó al GT II está concebida de tal manera que pretende establecer un Datum Geocéntrico mediante la extensión de la red GPS SIRGAS a través de la integración de las "Redes Geodésicas" de cada uno de los países sudamericanos participantes en el proyecto, todo ello concebido bajo un espíritu de "Geodesia Global"; en este sentido se estableció que para el datum geocéntrico se debe considerar un Sistema de Ejes coordenados basados en el sistema de referencia SIRGAS con los parámetros del elipsoide "GEODETIC REFERENCE SYSTEM (GRS) de 1980", por otra parte se definió que el sistema de referencia SIRGAS se basaría en IERS (INTERNATIONAL EARTH ROTATION SERVICE) TERRESTRIAL REFERENCE FRAME (ITRF).

Teniendo presente lo anterior, el GT II se abocó a la tarea de diagnosticar la situación particular de cada país miembro, detectándose situaciones muy distintas, como así también diversos intereses e intenciones de cómo lograr la integración de las "Redes Geodésicas" en el marco de referencia SIRGAS. Considerando esta información se realizaron una serie de reuniones y coordinaciones tendientes a lograr el objetivo final del GT II, en cada oportunidad se dictaron recomendaciones y resoluciones que cada país fue cumpliendo en la medida de sus capacidades e intereses.

Finalmente en agosto de 1996, en la reunión celebrada en Santiago de Chile, se concluyó que el mejor curso de acción para lograr la integración de las "Redes Geodésicas" de cada país, y así obtener un Datum Geocéntrico para América del Sur, consiste en que los países miembros efectúen individualmente esta integración, sin embargo todo ello bajo la coordinación y recomendaciones técnicas elaboradas por el GT II, las que en términos muy generales consideran métodos de obtención, integración, procesamiento y análisis de datos geodésicos, orientando estas sugerencias a la explotación del Sistema de Posicionamiento Global (GPS).

#### **3.2- CONTRIBUCION INDIVIDUAL DE LOS PAISES**

##### **3.2.1- ARGENTINA**

###### **3.2.1.1- INTRODUCCION**

El actual marco de referencia de la República Argentina denominado POSGAR 94 está materializado por 127 puntos. Estos puntos son centros de círculos de 200 km. de radio que cubren todo el territorio, además de que un 50% aproximadamente coincide con los del sistema geodésico local denominado Inchauspe 69. Esta dualidad de valores para los puntos

comunes a los dos sistemas son los que permiten determinar los parámetros de transformación.

Las campañas de observación GPS que materializaron POSGAR fueron realizadas durante los años 1993 y 1994. A principios del año 1995 se finaliza el cálculo de la red obteniéndose POSGAR 94, para el mismo se utilizó un programa comercial alcanzando un acuerdo interno medio entre 1 (uno) y/o 0,5 (cero cinco) ppm y materializa al sistema WGS 84 con un error de 1 (un) metro.

### **3.2.1.2- CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS DE ACUERDO A LAS RECOMENDACIONES DE LA REUNION DE SANTIAGO AGOSTO DE 1996**

- Integrar la Red Nacional POSGAR existente a SIRGAS en forma individual.
- Integrar nuevos levantamientos a POSGAR.
- Coordinar las necesidades del país en relación al ajuste y transformación de coordenadas.
- Buscar una solución apropiada para definir las coordenadas de la red clásica al sistema nuevo conforme a las especificaciones que emanen del GT I.

### **3.2.1.3- MAPA DE LA RED GEODESICA NACIONAL**

Ver Figura 3.1.

### **3.2.1.4- DESCRIPCION DE LA INTEGRACION A SIRGAS**

Desde agosto de 1996 se está llevando a cabo un nuevo cálculo de la totalidad de la red POSGAR, utilizando el software Bernese versión 3.5 y siguiendo las recomendaciones impartidas por el Grupo de Trabajo II de SIRGAS. La tarea se realizará íntegramente en el país, contando con asistencia científica del DGFI de Munich, Alemania.

Las observaciones fueron realizadas en dos períodos, uno comprendido entre febrero y mayo de 1993, y el otro entre febrero y abril de 1994. La longitud de las mismas fue típicamente de 6 (seis) horas, aunque las observaciones provenientes del proyecto geodinámico CAP (CENTRAL ANDES PROJECT; UNAVCO/NF, USA), medido simultáneamente con POSGAR durante 1993, se agruparon en sesiones de 22 horas. Los receptores utilizados fueron de tipo geodésico con recuperación de la señal L2 por cuadratura: TRIMBLE SST y TOPCON GP-R1D.

El observable elegido para el cálculo es la combinación lineal libre del efecto ionosférico, adoptándose siempre soluciones con ambigüedades flotantes. Se utilizan efemérides precisas del CENTRO EUROPEO DE DETERMINACION ORBITAL (CODE). El efecto troposférico se corrige utilizando un modelo a priori evaluado con una atmósfera estándar y estimando parámetros de corrección del retardo cenital por estación válidos para un intervalo máximo de 6 (seis) horas. Se realiza una edición pormenorizada de los datos a fin de corregir los ciclos perdidos.

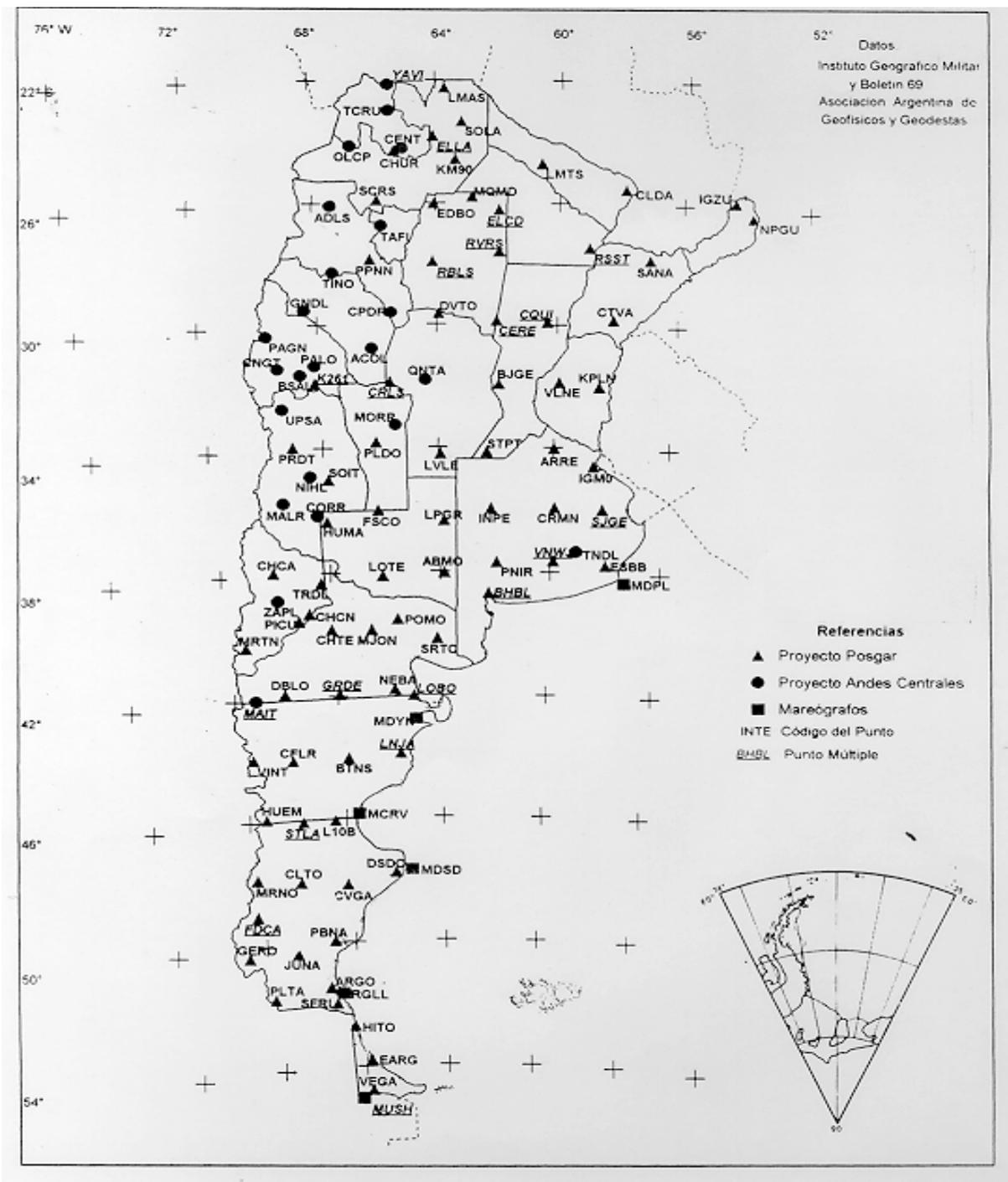


FIGURA 3.1: Mapa de la red geodésica Argentina

Las sesiones se procesan una a una, teniendo en cuenta las correlaciones entre los distintos vectores que las componen. Las coordenadas de partida empleadas son las de POSGAR 94, a las que se asigna un peso muy bajo. Esto permite obtener un conjunto de subredes casi libres, cuyas ecuaciones normales se guardan para un ajuste posterior. En esta etapa las ambigüedades serán eliminadas de las ecuaciones normales y se estimarán solamente las coordenadas de las estaciones y las correcciones troposféricas.

No se ha analizado aún la estrategia que se usará para definir el sistema de referencia en ajuste final de la red.

La Argentina cuenta con 10 (diez) puntos SIRGAS, 6 (seis) de los cuales pertenecen a la red POSGAR, mientras que los 4 (cuatro) restantes (CRICYT, UNSA, IGZU Y LPGS), deben ser vinculados a la misma.

Al presente se han realizado las observaciones para vincular los puntos CRICYT, IGZU Y LPGS, restando solamente las correspondientes al punto UNSA. El cálculo de estas vinculaciones se realizará con el mismo software y estrategia ya descriptos.

### **3.2.1.5- ESTADO DE REALIZACION**

En la actualidad se ha completado el 70% (setenta por ciento) de la reducción de las observaciones crudas y se prevé finalizar esta etapa para julio de 1997. Durante la segunda mitad del presente año se estudiará la mejor manera de realizar el ajuste final y una vez que sea llevado a cabo se analizarán los resultados, estimándose que podría finalizarse el trabajo a mediados de 1998. Debido al avance en la investigación en el uso del programa Bernese por parte de especialistas de la Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de la Universidad Nacional de la Plata, se firmó un acuerdo marco de cooperación entre esa casa de estudios y el Instituto Geográfico Militar para obtener en los plazos fijados anteriormente el POSGAR 98.

## **3.2.2- BOLIVIA**

### **3.2.2.1- INTRODUCCION**

De acuerdo a convenios realizados por miembros del proyecto "SIRGAS", la contribución de Bolivia a este proyecto fue la de aportar seis estaciones, las cuales fueron ajustadas satisfactoriamente por parte del NIMA, como también por el DGFI. A excepción de San José de Chiquitos cuyos valores solamente se tienen por parte del ajuste realizado por el NIMA.

### **3.2.2.2- CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS**

La contribución individual de Bolivia para este proyecto se puede resumir en lo siguiente:

Integración de la red geodésica fundamental de clase "A" de todo el país a la red "SIRGAS".

Paralelamente a este trabajo ha sido implantado a lo largo y ancho del territorio nacional otra red perteneciente a la clase "B", este trabajo se realizó a pedido del "Servicio Nacional de Catastro Minero".

La Primera Red tiene una observación de 12 hrs. Habiéndose ocupado la misma estación dos veces como mínimo, partiendo siempre de dos puntos conocidos estableciendo así un vector verdadero en cada sesión.

La Segunda red ha sido observada por un tiempo de 1 ½ hrs. Ocupándose como mínimo dos veces cada estación, partiendo de dos puntos conocidos en cada sesión.

### **3.2.2.3- MAPA DE LA RED GEODESICA NACIONAL**

Ver Figuras 3.2 y 3.3.

### **3.2.2.4- DESCRIPCION DE LA INTEGRACION A SIRGAS**

En la actualidad existen dos redes de control GPS. El primero perteneciente a la red Geodésica Fundamental de la clase “A” y red Geodésica Minera perteneciente a la clase “B”.

Ambas redes han sido ligadas a la red Geodésica Continental, SIRGAS; estas redes servirán en un futuro para actualizar todos los trabajos que realice el IGM, también cabe hacer notar que se cuenta con coordenadas referidas al sistema WGS-84 y al PSAD-56 con la cual ha venido trabajando hasta la fecha el país.

### **3.2.2.5- ESTADO DE REALIZACION**

El estado de realización de la red Geodésica de la clase “A” se encuentra ejecutada en un 85 %, teniéndose programado que en el transcurso del presente año se cumpla con toda la red diseñada por el Instituto Geográfico Militar.

La red geodésica minera ha sido concluida en su totalidad, disponiéndose a la fecha todos los datos en los sistemas WGS-84, como en el PSAD-56, tanto en coordenadas geodésicas como en CUTM.

### **3.2.2.6- PROGRAMACION PARA OBTENCION DE RESULTADOS FINALES**

Actualmente el Instituto Geográfico Militar de Bolivia se encuentra realizando los trabajos complementarios para la determinación de alturas ortométricas a las estaciones SIRGAS; se tiene previsto concluir con este trabajo para fin de año.

Los datos de la red geodésica de la clase “A” estarán disponibles para mediados de noviembre en su totalidad.

Los datos de la red Geodésica Minera están disponibles desde noviembre del pasado año.



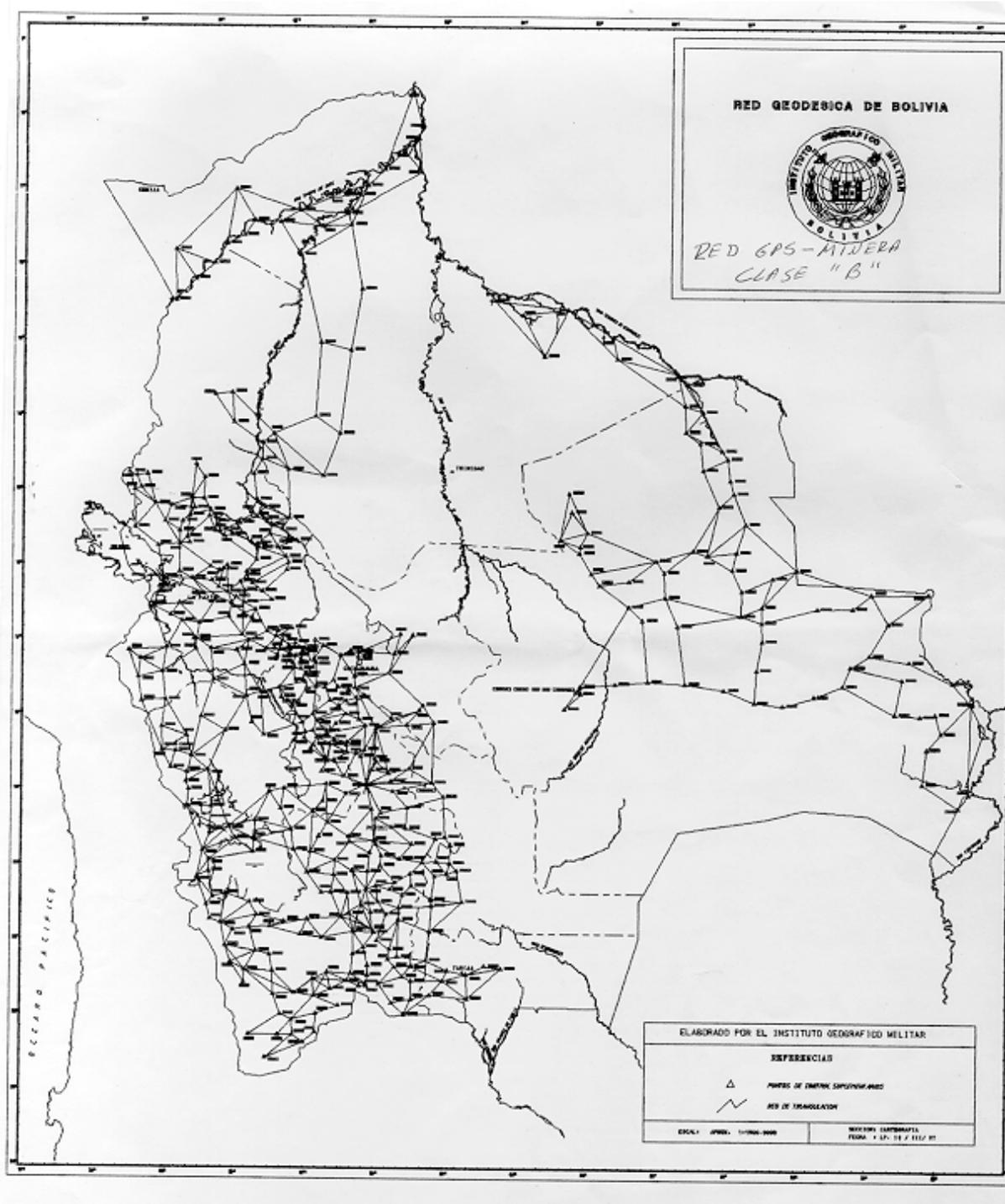


FIGURA 3.3: Mapa de la red geodésica de Bolivia (Clase B)

### **3.2.3- BRASIL**

#### **3.2.3.1- INTRODUÇÃO**

A Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) é a instituição responsável pela geodésia e cartografia no Brasil, tendo sido selecionada como escritório central do projeto SIRGAS com o objetivo de prestar sua contribuição para a geodésia do continente. Com este propósito desde o início do projeto, o Brasil vem participando ativamente de suas atividades, nas campanhas, na condução da responsabilidade do banco de dados, no cumprimento das recomendações e na cooperação técnica.

Com o objetivo de fornecer um tratamento mais refinado e homogêneo à rede geodésica brasileira e visando a sua posterior integração ao SIRGAS, foi iniciado na década passada o Projeto de Reajustamento da Rede Planimétrica (REPLAN). Deste modo, todas as observações que compõem a rede, sejam elas de natureza terrestre ou espacial, foram incluídas pela primeira vez em um ajustamento global e simultâneo. Este projeto foi concluído em setembro de 1996 e como resultado foram gerados novos valores de coordenadas para 4939 marcos geodésicos de alta precisão.

Para este ano, todos os esforços estão sendo feitos para a integração da rede geodésica brasileira ao SIRGAS e com este objetivo é que as 11 estações SIRGAS em território brasileiro já estão conectadas a estações da rede clássica ou a estações de redes GPS existentes na região. Além disso, 30 campanhas GPS, medidas no período de 1994 a 1997, estão sendo incluídas no novo ajuste, o qual tem sua finalização prevista para dezembro deste ano.

#### **3.2.3.2- CUMPRIMENTO DOS OBJETIVOS DE ACORDO COM AS RECOMENDAÇÕES DA REUNIÃO DE SANTIAGO**

Com a finalidade de contribuir ao máximo com o desenvolvimento do Projeto SIRGAS, o Brasil participou ativamente da campanha SIRGAS 95 com 11 estações em território brasileiro, dentre as quais 9 já estão conectadas plani-altimetricamente às redes de alta precisão existentes. Estas 9 estações atualmente fazem parte da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo do Sistema GPS (RBMC), considerada uma das primeiras redes geodésicas ativas da América do Sul.

Visando o cumprimento das resoluções estabelecidas na reunião de Santiago, o Brasil incorporará ao SIRGAS todas as observações utilizadas no Projeto REPLAN, ou seja, as observações da rede clássica de primeira ordem, as observações DOPPLER e GPS. As observações GPS realizadas a partir de 1994 receberão um tratamento mais refinado através da utilização de órbitas precisas e o processamento em um software científico. Com o objetivo de relatar o atual status da integração da rede geodésica brasileira ao SIRGAS, prevê-se a apresentação de um trabalho na reunião do IAG em setembro deste ano.

Contando com a experiência adquirida no REPLAN e no processamento de redes GPS em software científico, o Brasil também está prestando assessoria técnica ao Uruguai através do processamento de redes GPS e cooperando com a integração da rede Uruguia ao SIRGAS.

### 3.2.3.3- MAPA DA REDE GEODÉSICA BRASILEIRA

Ver Figura 3.4.

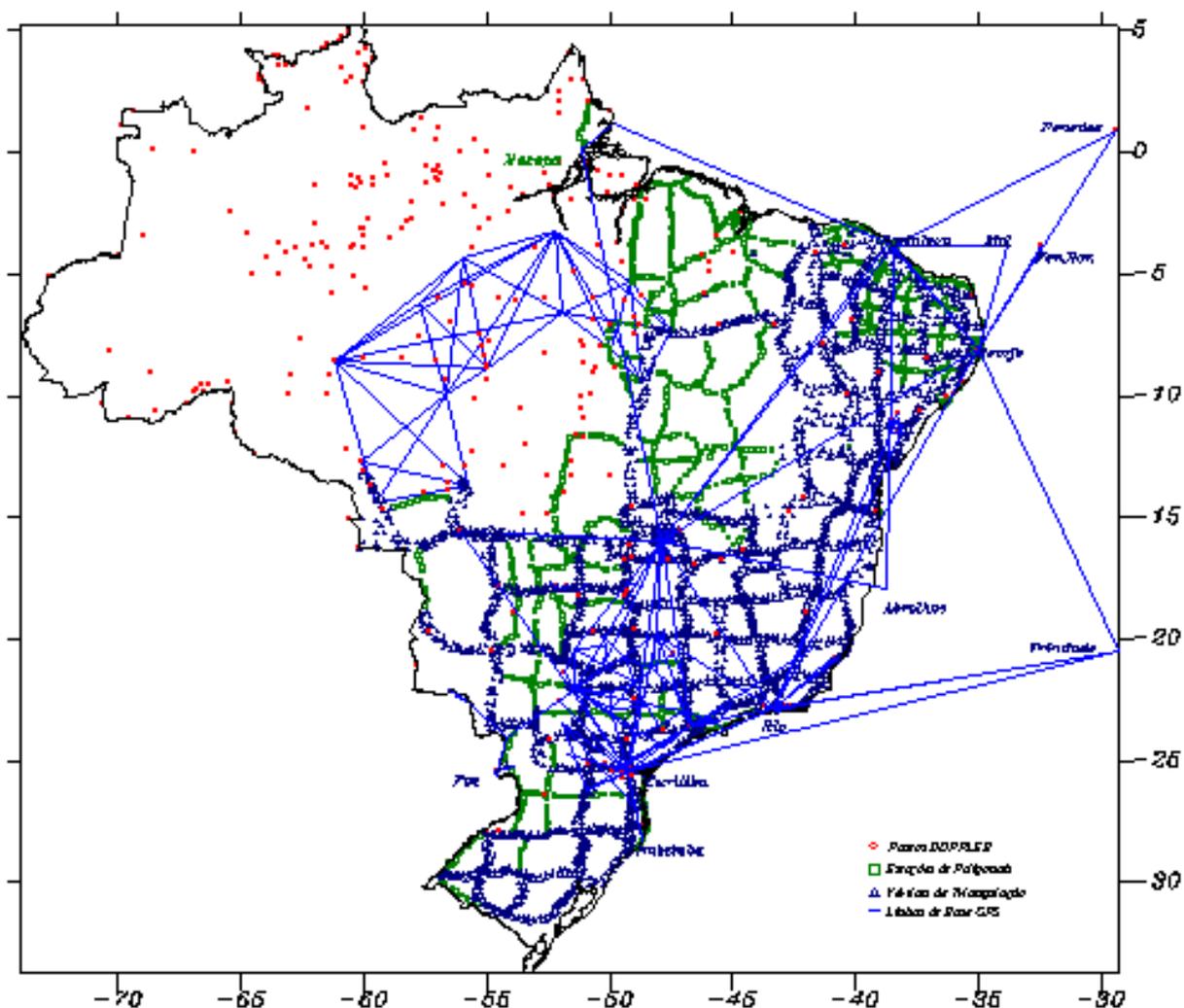


FIGURA 3.4: Mapa da rede geodésica brasileira

### 3.2.3.4- DESCRIÇÃO DA INTEGRAÇÃO DA REDE GEODÉSICA NACIONAL AO SIRGAS

O passo inicial para o desenvolvimento sistemático da geodésia no Brasil foi na década de 40 com a implantação da Rede Planimétrica do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB). Atualmente a rede planimétrica conta com um quantitativo de 3498 vértices de triangulação, 1158 estações de poligonal, 26 pontos de trilateração (HIRAN), 1143 estações DOPPLER e 250 estações GPS, totalizando 6075 estações, cujas coordenadas tinham sido determinadas antes do projeto REPLAN através de vários ajustamentos.

Como foi dito anteriormente, o projeto REPLAN surgiu da necessidade de fornecer um tratamento homogêneo e refinado às estações que compõem a Rede Planimétrica Brasileira. Em uma primeira fase os dados foram armazenados e criticados através de vários programas desenvolvidos para este fim. Esta etapa do projeto consumiu cerca de 5 anos e somente no segundo semestre de 1992 é que foi iniciado o ajustamento da rede de triangulação. O primeiro ajustamento global da rede planimétrica foi realizado com o software GHOST desenvolvido no Geomatics of Canada para o ajustamento do NAD83. O projeto também contou com a valiosa assessoria técnica do Sr. Don Beattie, contribuindo na conclusão de algumas etapas.

Das 1143 determinações de ponto isolado DOPPLER, apenas as que tinham conexão com estações da rede de triangulação e resultados de reprocessamento com efemérides precisas foram incluídas no REPLAN. As redes GPS implantadas anteriormente à 1993 foram processadas com efemérides operacionais, enquanto as redes implantadas a partir de 1994 estão sendo processadas com efemérides precisas.

Para a integração ao SIRGAS serão utilizadas as seguintes observações:

- Direções horizontais (Teodolito T3): 16913
- Azimutes astronômicos (Teodolito T3/T4): 389
- Estações astronômicas (Componentes do desvio da vertical): 378
- Linhas de bases geodésicas (Triangulação - Geodímetro e Fitas ínvar): 257
- Linhas de bases geodésicas (Poligonação - Telurômetro ): 1277
- Pontos DOPPLER isolados processados com efemérides precisas: 179
- Linhas de base GPS (incluídas até setembro de 1996, abrangendo 400 estações GPS): 1198.

Paralelamente às atividades de integração ao SIRGAS, já estão sendo determinados os parâmetros de transformação relativos ao datum local oficialmente adotado no Brasil, o Datum Sul-americano de 1969 (SAD-69 [South American Datum 1969]). Para este cálculo estão sendo utilizadas 5 estações SIRGAS, geograficamente distribuídas em território brasileiro e que possuem coordenadas em ambos sistemas.

### **3.2.3.5- CRONOGRAMA PARA APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS FINAIS**

Ver Tabela 3.1.

TABELA 3.1: Cronograma para apresentação dos resultados finais da integração da rede geodésica brasileira ao SIRGAS

| ATIVIDADES   | JAN | FEV | MAR | ABR | MAI | JUN | JUL | AGO | SET | OUT | NOV | DEZ |
|--|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| PROCESSAMENTO DAS CAMPANHAS GPS (1994-1997)                      | ■   | ■   | ■   | ■   | ■   | ■   | ■   | ■   | ■   |     |     |     |
| PROCESSAMENTO DAS CONEXÕES SIRGAS                                |     |     |     |     | ■   | ■   |     |     |     |     |     |     |
| INCLUSÃO DAS CAMPANHAS GPS NO ARQUIVO DE AJUSTE                  |     |     |     |     | ■   | ■   | ■   | ■   | ■   |     |     |     |
| AJUSTAMENTO DE TODAS CAMPANHAS GPS                               |     |     |     |     |     |     |     | ■   | ■   |     |     |     |
| INCLUSÃO DAS CAMPANHAS GPS NO ARQUIVO DAS OBSERVAÇÕES TERRESTRES |     |     |     |     |     |     |     | ■   | ■   | ■   |     |     |
| AJUSTAMENTO SIMULTÂNEO DE TODAS AS OBSERVAÇÕES DA REDE           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | ■   |     |
| ANÁLISE DOS RESULTADOS   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | ■   |     |
| ELABORAÇÃO DO RELATÓRIO DOS RESULTADOS FINAIS                    |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | ■   |

### **3.2.4- CHILE**

#### **3.2.4.1- INTRODUCCION**

El Instituto Geográfico Militar de Chile, como entidad rectora, a nivel nacional, en todo lo que se refiere a la geografía y el levantamiento del territorio nacional, ha establecido y mantiene durante las últimas cinco décadas, una “RED GEODESICA NACIONAL DE I, II Y III ORDEN”, que cubre mediante cadenas de triangulación geodésica todo el territorio nacional.

Esta red geodésica nacional convencional establecida por sistemas geodésicos clásicos de astronómica y satelital por sistema Doppler, ha obligado a adoptar diferentes elipsoides y datum de referencia para la elaboración de la cartografía nacional. Por lo tanto, se han adoptado los elipsoides PSAD 56, SAD 69, WGS 72 y NWL9D. Ultimamente, con el avance tecnológico satelital y el desarrollo de modelos equipotenciales basados en la gravedad terrestre, se ha conformando el moderno sistema global de posicionamiento satelital GPS, el cual está referenciado al Sistema Geodésico Mundial 1984 (WGS-84). Este datum satelital ha sustituido los sistemas mencionados anteriormente y ha sido adoptado y recomendado por toda la comunidad sudamericana, dado que permite, con gran rapidez, estructurar y homogenizar todos los valores de la red, con una elevada precisión.

El IGM conciente de las ventajas de esta nueva técnica satelital, accedió a instalar en Chile este nuevo y moderno sistema de referencia geodésico y ha firmado trascendentales convenios de colaboración científica internacional para materializar una nueva “Red Geodésica GPS Nacional”, cuyo fin será realizar el control geodésico preciso y permanente de la deformación que se están produciendo en la cordillera de los Andes, descartando el uso del sistema de posicionamiento convencional, por los motivos antes señalados.

Las mediciones geodésicas GPS para esta nueva red, a nivel nacional, se han desarrollado durante los últimos cinco años (1992-1997) y comprenden una serie de actividades de medición geodésicas simultáneas de esta nueva y moderna “Red Geodésica GPS Nacional”.

Con los georreceptores GPS se han medido a la fecha, un total aproximado de 184 “estaciones GPS” (período 1992-1997), localizadas en diferentes lugares geográficos, a lo largo y ancho de las doce regiones que comprende el país, desde la I región al territorio chileno antártico e islas oceánicas.

Para mantener esta nueva Red Geodésica GPS Nacional, con información actualizada, se ha conformado una “Red de Estaciones Activas Fijas” (EAF.), de 13 (trece) estaciones a lo largo del país, combinadas con otras 3 (tres) ya existentes en el territorio nacional y administradas por el Servicio GPS Internacional para la Geodinámica (IGS), localizadas en Isla de Pascua, Santiago (Peldehue) y Base O’Higgins (territorio chileno antártico).

Las nuevas EAF. como las 184 estaciones fijas GPS, han sido instaladas y puestas en funcionamiento por el IGM en conjunto con la Universidad de Hawaii (UH) de los Estados Unidos y el Geoforschungszentrum Postdam (GFZ), de Alemania. La participación de estas dos organizaciones internacionales se ha materializado mediante convenios de cooperación científica permanentes con el IGM, para fijar las condiciones y requerimientos técnicos de

instalación, funcionamiento permanente y financiamiento conjunto, de las 13 “Estaciones Activas Fijas” GPS (EAF.), que conforman esta nueva “Red Geodésica Nacional Activa”(RGNA) de “rastreo continuo”. Esta red ha sido definida en forma científica y estratégica en las diferentes regiones del país, para su funcionamiento diario, mediante el rastreo continuo de la constelación de satélites NAVSTAR-GPS, la cual será próximamente integrada, junto a la red de 184 estaciones GPS fijas, a la actual “RED GPS SIRGAS”, establecida en Chile con 4 estaciones fijas (Copiapó, Concepción, Balmaceda y Punta Arenas).

#### **3.2.4.2- CUMPLIMIENTO A LOS OBJETIVOS DEL ACUERDO**

El IGM se ha fijado como primera prioridad, el integrar la nueva “Red Geodésica GPS Nacional”, con la actual red GPS-SIRGAS en Chile.

Por este motivo se ha establecido un programa de trabajo con un horizonte de desarrollo de dos años (1997-1998), los cuales, en resumen, pretenden conformar e integrar en una sola red, todas las estaciones SIRGAS (4), con las redes geodésica GPS de “Estaciones Fijas” (184) y de “Estaciones Activas Fijas” (13).

Para el procesamiento de los datos GPS de integración de estas nuevas redes GPS a la red SIRGAS, se buscará la colaboración de los organismos con los cuales se tienen firmados los convenios, como son la Universidad de Hawaii y el Geoforschungszentrum (GFZ) de Alemania, como también han ofrecido su colaboración el centro de procesamiento del National Imagery and Mapping Agency (NIMA) de Estados Unidos.

#### **3.2.4.3- MAPA GENERAL DE LAS REDES GEODESICAS GPS NACIONALES**

Se adjunta figura con mapa general del país, con la individualización y localización geográfica aproximada de las estaciones GPS que comprenden la actual “Red Geodésica Nacional de Estaciones Fijas GPS”, junto a la “Red Geodésica Nacional de Estaciones Activas Fijas (EAF)”, que serán integradas a la actual red geodésica nacional GPS de SIRGAS.

Nota: las estaciones IBAN, BLMC, CASU Y CHAM, corresponden a la red de estaciones fijas GPS SIRGAS.

Ver Figura 3.5 y Tabla 3.2.

#### **3.2.4.4- DESCRIPCION DE LA INTEGRACION A LA RED SIRGAS**

Para el desarrollo técnico de gabinete se ha contemplado realizar las siguientes fases:

- El procesamiento y cálculo de los valores de posicionamiento geográfico serán ejecutados en dos set de datos (EAF. y Estaciones SIRGAS). Se dejarán fijos los valores de coordenadas de las estaciones SIRGAS y se calcularán y ajustarán los valores de coordenadas que se obtengan de las EAF.

- Una vez obtenidos los valores de coordenadas definitivas de las EAF. ajustadas a la red SIRGAS, se procederá a reprocesar los datos de coordenadas de las 184 estaciones fijas de la red nacional GPS, remedidas en las campañas conjuntas IGM/UH. y del IGM/GFZ, durante el año 1996.

### 3.2.4.5- ESTADO DE REALIZACION

De acuerdo con el programa de trabajo para la integración de las redes detalladas en el capítulo anterior, se tiene el siguiente plan de acción:

- a) Durante el mes de agosto del presente año se llevará a efecto la primera campaña de remediación GPS de las Estaciones SIRGAS, las que serán medidas por un período de 48 horas en “medición simultánea” con las 7 Estaciones Activas Fijas (EAF) de rastreo continuo del país instaladas a la fecha. Estas mediciones tienen por objeto hacer la vinculación e integración de las EAF localizadas en Antofagasta (II región), Copiapó (III región), Antuco (IX región), Puerto Montt (X región), Punta Arenas (XII región) y Base Presidente Frei (XII región y de la Antártica chilena) a las 4 estaciones SIRGAS de Chile.
- b) Para la materialización del programa de trabajo de terreno trazado para la integración de las redes antes mencionadas, se ha fijado un período aproximado de 18 meses, dependiendo de los recursos disponibles y de las prioridades en los trabajos planificados durante el presente año en el plan de trabajos técnicos del Instituto Geográfico Militar para 1997. No obstante lo anterior, se tiene catalogado el proyecto en carácter de prioritario, dada la trascendencia nacional e internacional de su cometido.
- c) Complementariamente al desarrollo de las misiones de terreno antes señaladas, el IGM. tiene previsto las siguientes actividades técnicas:
  - La adquisición de nuevos software de procesamiento GPS para procesamiento de datos GPS en grandes regiones (a nivel nacional), como p.e. BERNESE, SKY, GIPSY II, u otros.
  - La capacitación y adiestramiento del personal involucrado en el procesamiento de los datos GPS, manejo y análisis del software.
  - Junto con la adquisición del software, los datos serán procesados en forma simultánea por diferentes organismos: Universidad de Hawaii (UH), GFZ de Alemania y NIMA, con el fin de efectuar las comparaciones y analizar resultados que se obtengan a través de estos organismos.

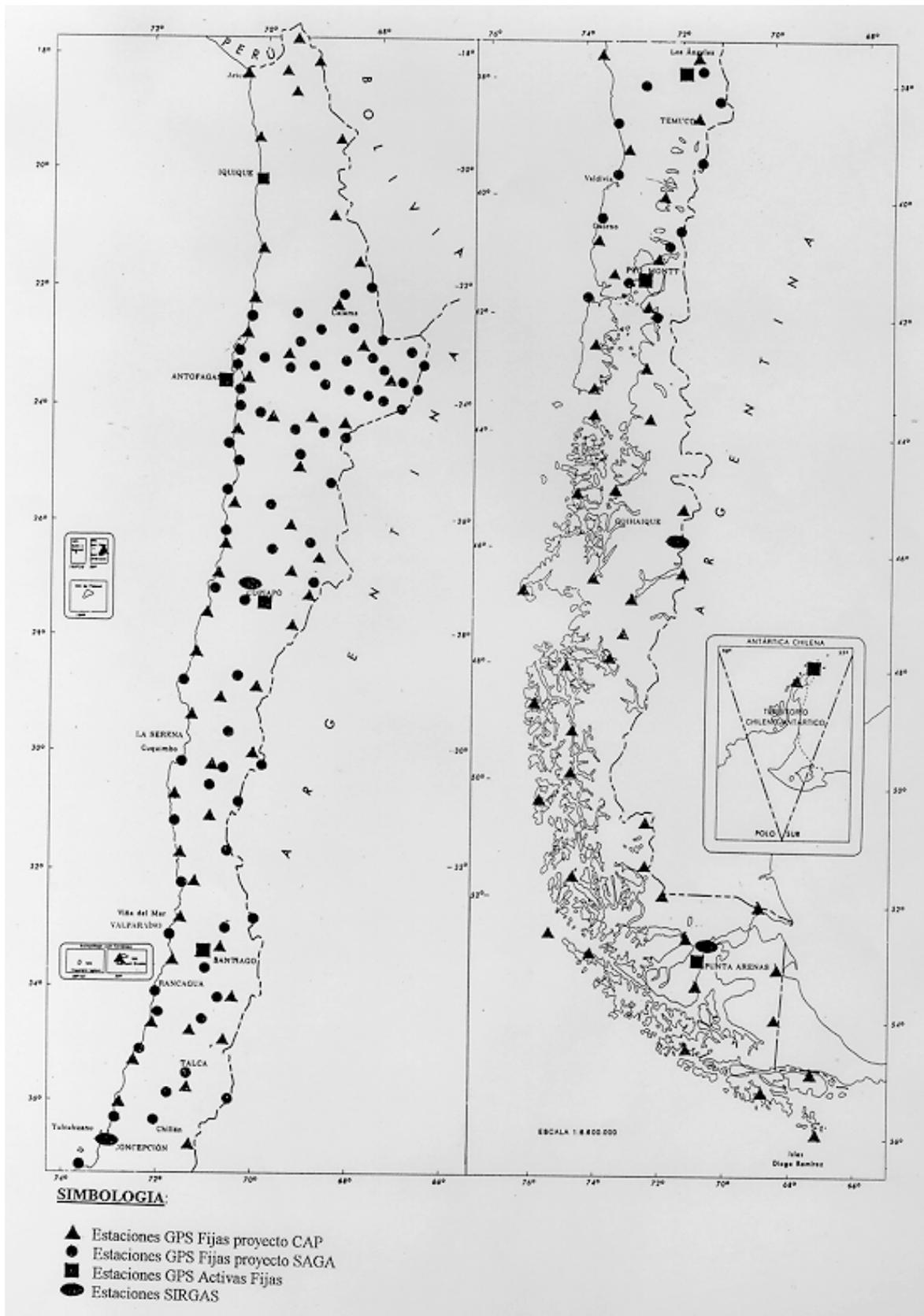


FIGURA 3.5: Mapa general de las redes geodésicas GPS nacionales de Chile

TABLA 3.2: Estaciones activas fijas (EAF.) de la red geodésica nacional activa de Chile

| NUMERO | NOMBRE DE LA ESTACION                  | CODIGO DE LA EAF. | CONVENIO/ PROYECTO |
|--------|--|-------------------|--------------------|
| 1      | IQUIQUE                                | IQQE*             | IGM-UH/CAP         |
| 2      | ANTOFAGASTA                            | ANTO*             | IGM-GFZ/SAGA       |
| 3      | COPIAPO                                | COPO*             | IGM-UH/CAP         |
| 4      | ISLA ROBINSON CRUSOE                   | RCRV              | IGM-GFZ/SAGA       |
| 5      | ISLA SAN FELIX                         | SFEL              | IGM-UH/CAP         |
| 6      | ANTUCO                                 | ANTC*             | IGM-UH/CAP         |
| 7      | PUERTO MONTT                           | PMON*             | IGM-GFZ/SAGA       |
| 8      | COHIAIQUE                              | CQUE              | IGM-UH/CAP         |
| 9      | CAMPO DE HIELO SUR                     | GUAR              | IGM                |
| 10     | PUNTA ARENAS                           | PARC*             | IGM-UH/CAP         |
| 11     | ARICA                                  | ARCA              | IGM-UH/CAP         |
| 12     | PUERTO WILLIAMS                        | PUWI              | IGM-UH/CAP         |
| 13     | BASE FREI TERRITORIO CHILENO ANTARTICO | FREI*             | IGM-UH/CAP         |

NOTA: las estaciones (\*) son las que actualmente se encuentran activas

### **3.2.5- COLOMBIA**

#### **3.2.5.1- NUEVA RED GEODESICA NACIONAL CON GPS**

La red horizontal colombiana se inició en la década de los 40 y se fue extendiendo por el territorio nacional a través del método convencional (triangulación geodésica con teodolito y cintas métricas patronadas). Este proceso tomó más o menos 45 años y cubrió las tres cordilleras y parte de los Llanos Orientales.

Fue imposible, sin embargo, llegar a las regiones de la Orinoquía y la Amazonía con la triangulación geodésica debido a las características selváticas de estas dos regiones y que impide que las estaciones adyacentes sean vistas entre sí (intervisibilidad).

La red convencional, hoy llamada “red antigua”, está constituida por puntos (vértices geodésicos) localizados en las partes más altas de las cordilleras, con el fin de divisar grandes extensiones de terreno. Estos puntos están materializados con monumentos de concreto de sección cuadrada de 0.30 X 0.30 metros por 0.80 metros de profundidad. La identificación ha sido estampada en una placa de bronce y corresponde por lo general al mismo nombre en donde está localizado el vértice.

Al unir los puntos entre sí, de acuerdo a la intervisibilidad de ellos, se obtiene una serie de figuras geométricas (la más común es el cuadrilátero), formadas por triángulos. El conjunto de todas estas figuras es lo que se conoce como Red de Triangulación Geodésica.

Esta red posee coordenadas geodésicas (latitud y longitud) para cada uno de sus vértices, esto es, se dispone de un gran número de puntos de referencia de donde se toman las coordenadas para todos los proyectos cartográficos, geodésicos y topográficos del país.

La red vertical se extiende por el territorio nacional formando una gran malla de líneas de nivelación con puntos de altura conocida, separados entre sí más o menos 1 kilómetro, y materializados con monumentos de concreto de las mismas dimensiones de los vértices de la red horizontal, pero con una numeración consecutiva para identificar los puntos de una línea.

Las dos redes descritas representan la infraestructura geodésica de apoyo para la ejecución de toda la cartografía nacional.

Antes de la aparición del sistema satelital GPS, la determinación de la red horizontal fue una tarea supremamente difícil y costosa, con obstáculos insalvables que impedían el cubrimiento total del país, por lo cual su ejecución parcial tomó muchos años de fatigosas labores de campo.

#### **3.2.5.2- NECESIDAD DE UNA NUEVA RED**

A raíz del proceso de modernización del Instituto, la División de Geodesia de la Subdirección de Cartografía cambió sus antiguos teodolitos (instrumentos pioneros de la geodesia en el país) por modernos receptores satelitales de alta precisión (Wild GPS System 200 de Leica) y

estaciones totales de la mejor tecnología. Reemplazó, asimismo, los niveles mecánicos utilizados en la determinación de la red vertical por niveles automáticos de fácil manejo.

Con toda esta tecnología disponible era necesario pensar en una nueva infraestructura geodésica de apoyo, de mayor precisión, mayor cubrimiento nacional y más fácil acceso.

Con ocasión de la Segunda Reunión de Trabajo del Proyecto SIRGAS, efectuada en 1994 en las instalaciones del IGAC (Instituto Geográfico “Agustin Codazzi”), la Subdirección de Cartografía presentó el proyecto de la nueva red.

El primer anteproyecto de la red GPS contemplaba la ocupación de vértices de la red antigua: el difícil acceso de estos puntos limitaría su utilidad.

El proyecto definitivo (ver Figuras 3.6 y 3.7) salió a finales de 1993 de la Unidad de Cálculos de la División de Geodesia y contemplaba sitios de alta seguridad como son las instalaciones de los diferentes aeropuertos nacionales.

En 1994 se programó su ejecución para la cual se dividió el país en cuatro zonas geográficas.

Tres de ellas - sur, centro, norte - fueron observadas aquel año con los receptores GPS y gracias a la participación de las siete regionales.

En 1995 se programó la ejecución de la cuarta parte (Orinoquía y Amazonía), la más complicada del país debido a la dificultad para acceder a algunos de los sitios seleccionados y a la deficiencia en las comunicaciones (Barrancominas, San Felipe, La Chorrera, Araracuara...).

### **3.2.5.3- REALIZACION DEL PROYECTO**

Con gran optimismo y bajo la coordinación del Jefe de la División de Geodesia, el grupo de ingenieros se dio a la tarea de la programación de la última etapa. La simultaneidad de las observaciones realizadas en una fecha determinada requiere programar muy cuidadosamente los desplazamientos a los sitios.

Fue así como del 12 de septiembre al 5 de octubre se realizaron las observaciones de campo, con un retraso de tres días respecto a lo previsto inicialmente, lo cual se considera como un éxito, pues finalmente se había completado la Red Geodésica Nacional con GPS, incluyendo la parte más difícil nunca antes provista de apoyo geodésico.

La nueva red puede ser utilizada con receptores GPS y también con el método convencional, pues cada vértice principal dispone de otro punto (señal de acimut) localizado a una distancia de más o menos 1000 metros.

Actualmente se tienen coordenadas preliminares ajustadas con el software SKI se espera que a finales del presente año se disponga de un ajuste definitivo, utilizando un software científico.

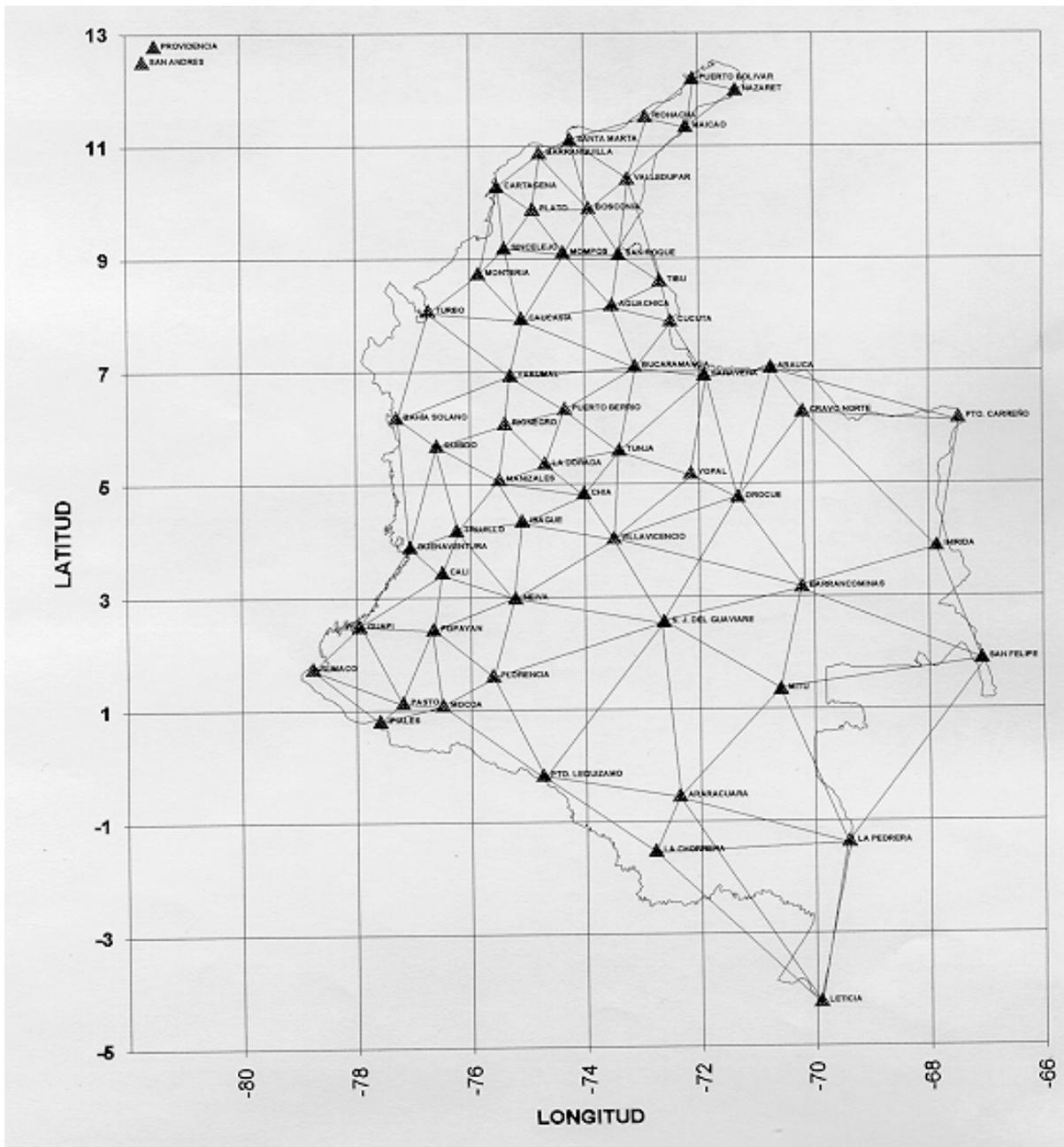


FIGURA 3.6: Mapa de la nueva red GPS nacional de Colombia

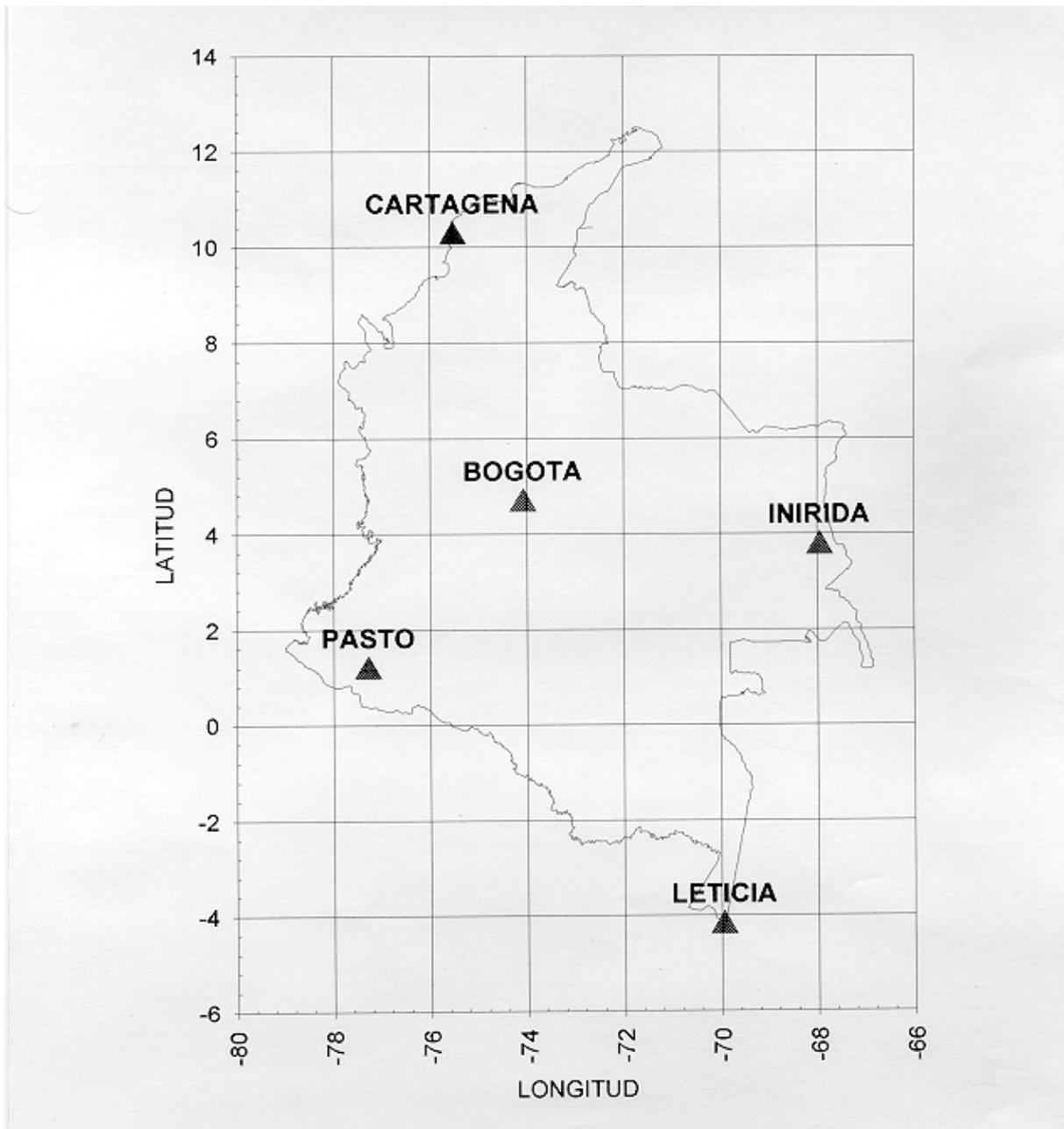


FIGURA 3.7: Mapa de las estaciones SIRGAS en Colombia

### 3.2.6- ECUADOR

Sin información.

### 3.2.7- GUYANA FRANCESA

#### 3.2.7.1- INTRODUCCION

Formando la Guyana Francesa parte del territorio nacional de Francia, el “Institut Géographique National” (IGN) está encargado de establecer y mantener su red geodésica. Una nueva red geodésica, llamada “Réseau Géodésique Français de Guyane” (RGFG), fue establecida en Mayo de 1995. Las coordenadas de esta red se publicaron antes de la disponibilidad de la solución final SIRGAS. Están basadas sobre las coordenadas ITRF93, época 1995.0, de la estación del IGS en Kourou, que quedan muy cerca de las coordenadas SIRGAS de dicha estación.

#### 3.2.7.2- DESCRIPCION DEL DATUM GEOCENTRICO DE GUYANA FRANCESA Y DE SU INTEGRACION A SIRGAS

La RGFG queda constituida por (ver Figura 3.8):

- El punto de referencia de la red: la estación GPS permanente del IGS en Kourou, único punto SIRGAS en Guyana Francesa,
- La red llamada “Réseau de Base Français de Guyane” (RBF), compuesta por 23 puntos distribuidos entre las dos subredes siguientes:
  - La RBF1 (7 puntos),
  - La RBF2 (16 puntos) es una densificación de la RBF1 en la zona costera.

Las observaciones fueron llevadas a cabo con receptores Ashtech Z-12 y procesadas con el software Ashtech GPPS, usando las órbitas del IGS. Tras hacer una compensación previa de todas las líneas de base con el software Geolab a fin de analizar la concordancia de las soluciones y el cierre de los vectores, se realizaron la ponderación y la compensación final con softwares desarrollados por el IGN.

Fijando las coordenadas ITRF93 (época 1995.0) de la estación IGS “KOUR“, se obtuvo una solución llamada RGFG95, publicada en forma de coordenadas geográficas sobre el elipsoide GRS80. Las coordenadas adoptadas para KOUR fueron:

$$\phi = 5^{\circ} 15' 7.84786'' \quad \lambda = - 52^{\circ} 48' 21.45401'' \quad h = - 25.772 \text{ m}$$

Las discrepancias con las coordenadas SIRGAS del mismo punto son: 0.7 cm en latitud, 3.4 cm en longitud y 0.3 cm en la componente vertical.

Una transformación con 7 parámetros fue computada entre el datum nuevo (RGFG95) y el datum clásico llamado CSG67, usando las coordenadas de 21 puntos comunes. Esta transformación se computó de tal manera que las coordenadas CSG67 del punto fundamental (Diane) no cambiaran. El conjunto de coordenadas así obtenido forma una nueva realización del datum clásico, llamada CSG67(IGN95).

## La red GPS de Guyana Francesesa

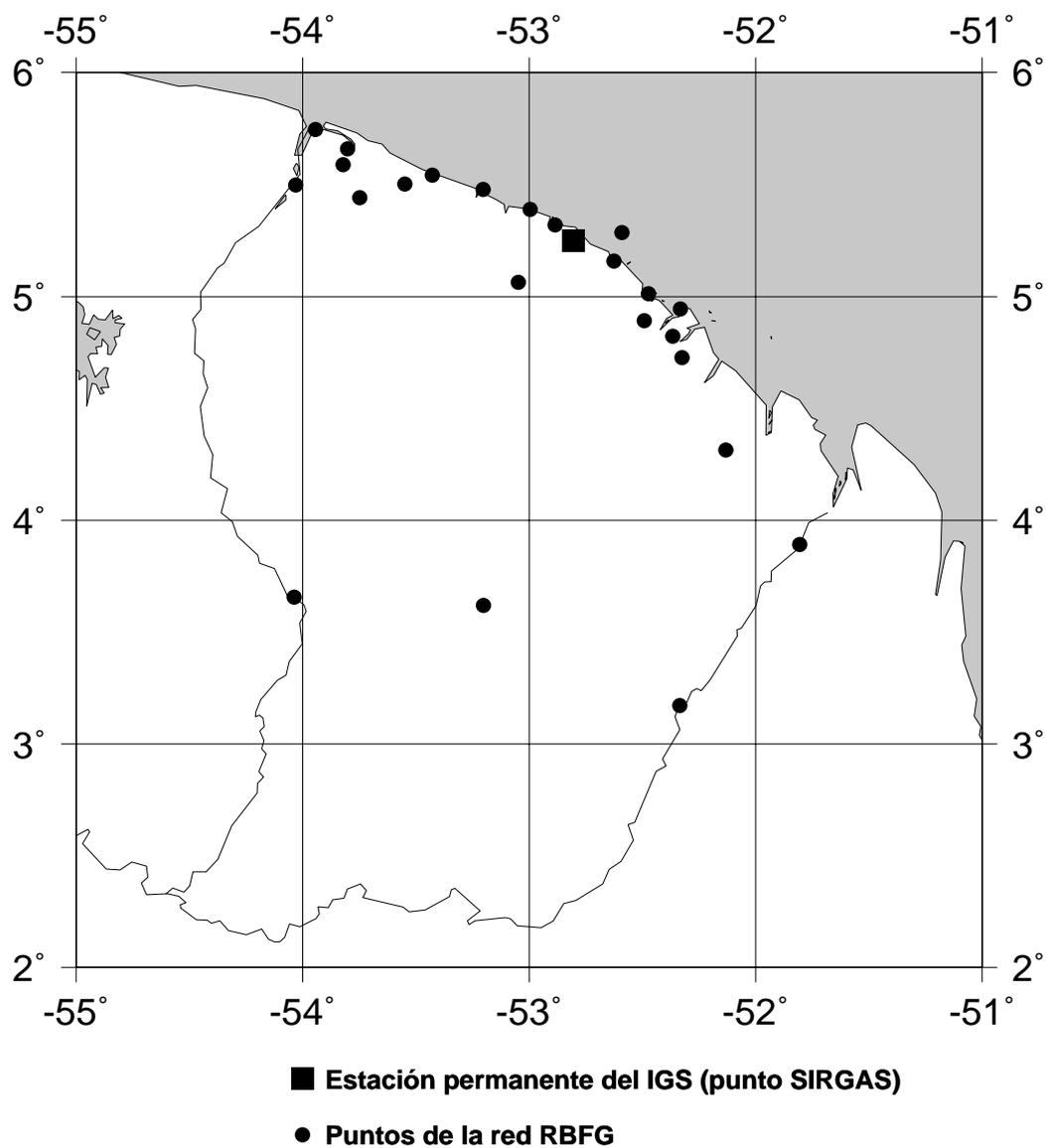


FIGURA 3.8: Mapa de la red GPS de Guyana Francesesa

### **3.2.7.3- CUMPLIMIENTO DE LOS OBJETIVOS DE ACUERDO A LAS RECOMENDACIONES DE LA REUNION DE SANTIAGO DE CHILE**

Puesto que las diferencias entre las coordenadas SIRGAS y RGFG95 de la estación Kourou quedan al nivel de la precisión de la red RGFG, proponemos aceptar la solución RGFG95 como ya integrada en el sistema SIRGAS.

### **3.2.8- GUYANA**

Sin información.

### **3.2.9- PARAGUAY**

#### **3.2.9.1- INTRODUCCION**

La Dirección del Servicio Geográfico Militar y el Defense Mapping Agency (DMA), ejecutaron la densificación de 165 puntos de la Red Geodesica Primaria entre junio y diciembre de 1992, dentro del marco del Proyecto de Racionalización del Uso de la Tierra, Proyecto Catastro Nacional, con la finalidad de:

- Producir Ortofotocartas Digitales y posteriormente para vincular, con otra red de mayor precisión en América.
- Básicamente fueron identificados dos clases de estaciones en la Red de Control, punto utilizado como fiducial y puntos posicionados relativamente con respecto al punto fiducial.
- La computación de los datos de medición fueron hechos en Paraguay y en las oficinas del DMA en Cheyenne, Wyoming y St. Louis Missouri en los Estados Unidos de América. El ajuste fue ejecutado por el DMA y National Geodetic Survey.
- Los vectores resultantes están dentro de lo especificado por US Federal Geodetic Control Committee - "B-ORDER".
- Todas las mediciones de esta Red de Control tienen sus respectivas descripciones, gráficos y posiciones relativas en las Cartas Operacionales.
- Estas estaciones de Control fueron establecidas con referencia al World Geodetic System 1984.

#### **3.2.9.2- CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS DE ACUERDO A LAS RECOMENDACIONES DE LA REUNION DE SANTIAGO - CHILE - AGOSTO/96**

Paraguay tiene una Red de Control Primaria relativamente nueva (Densificada en 1992), los datos crudos y los cómputos finales están en su totalidad en las oficinas del DMA en los

Estados Unidos de Norte América, los datos (vectores) están en condiciones de ser utilizado inmediatamente para su vinculación a SIRGAS.

Con el establecimiento de las estaciones SIRGAS N° 100050 ASUNCION y N° 1000120 ESTIGARRIBIA, se ha dado apertura para el cumplimiento de las recomendaciones de Santiago - Chile - Agosto de 1996.

Los procedimientos técnicos y software serán los utilizados por el Centro de Cómputo del NIMA, conforme a las derivaciones finales de las coordenadas SIRGAS de las estaciones definidas en la **V REUNION TECNICA DEL PROYECTO SIRGAS**, llevada a cabo en Isla Margarita - Venezuela del 8 al 11 de abril del corriente año.

### **3.2.9.3- ESTACIONES DE LA RED PRIMARIA QUE SERAN INTEGRADAS A LA RED SIRGAS**

Ver Figura 3.9.

### **3.2.9.4- DESCRIPCION DE LA INTEGRACION A SIRGAS**

En la integración de la red primaria a la red SIRGAS están incluidos los 165 puntos señalados en el mapa, de los cuales dos puntos corresponden a las estaciones SIRGAS establecidas en América del Sur.

Las redes geodésicas clásicas no serán incluidas en la integración de la red primaria a SIRGAS, por ser muy antiguas y por no disponer de los datos necesarios requeridos.

### **3.2.9.5- ESTADO DE REALIZACION**

Paraguay está coordinando con el National Imagery and Mapping Agency (NIMA), las necesidades de apoyo científico y tecnológico para realizar los trabajos de transformación y ajuste de la red nacional a la red SIRGAS.

### **3.2.9.6- PROGRAMACION PARA OBTENCION DE RESULTADOS FINALES**

La obtención de los resultados finales están sujetos a la planificación de actividades del NIMA y la Dirección del Servicio Geográfico Militar, dentro del cronograma que será fijado en el marco del Convenio Cartográfico suscripto por Paraguay y los Estados Unidos de Norte América.

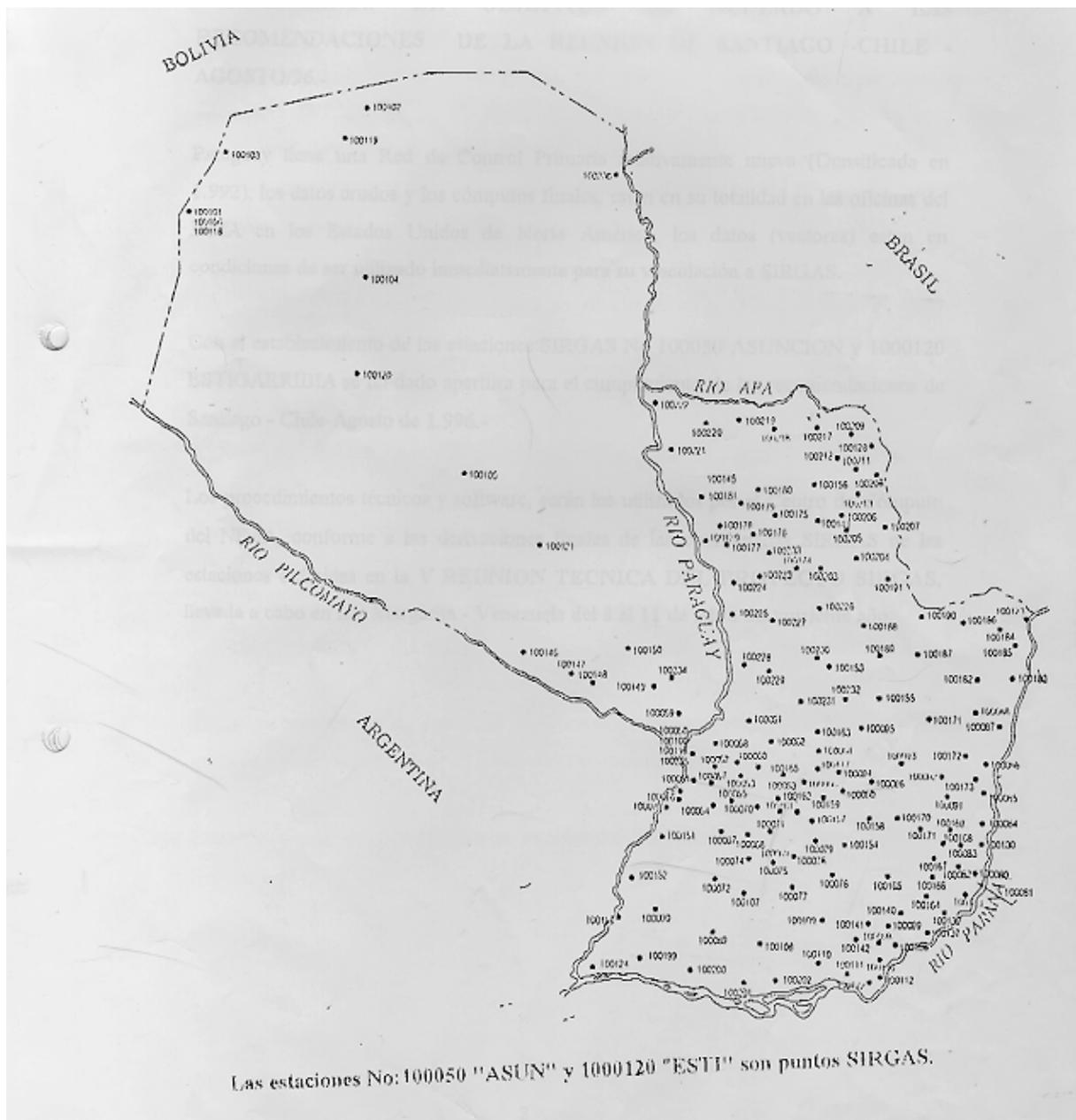


FIGURA 3.9: Mapa de las estaciones de la red primaria que serán integradas a la red SIRGAS

### **3.2.10- PERU**

#### **3.2.10.1- INTRODUCCION**

El Instituto Geográfico Nacional, como entidad rectora de la cartografía en Perú viene desarrollando trabajos en la consolidación de sus parámetros de referencia para el mejoramiento de su sistema de la red geodésica clásica, y con el programa de asistencia y cooperación técnica ofrecida por el Instituto Geodésico de la Universidad de las Fuerzas Armadas (IGUNIBWN) de Alemania viene ejecutando el establecimiento de un sistema de referencia geodésico geocéntrico en Perú.

El empleo de instrumentos de tecnología de punta como es el GPS permiten obtener resultados más precisos y con la utilización de algunas estaciones de la red geodésica clásica peruana, permitirán determinar las divergencias del sistema de coordenadas PSAD 56 y el sistema de coordenadas WGS 84.

Establecer una red GPS para utilizarlas en determinaciones de coordenadas en el sistema de coordenadas WGS-84 nos ofrece mejores posibilidades cartográficas a ser empleadas en diversas actividades técnico-científicas en el Perú.

#### **3.2.10.2- CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS**

El desarrollo del proyecto SIRGAS, orienta sus actividades hacia la adopción de un sistema de referencia de precisión compatible con las técnicas actuales de posicionamiento, principalmente a las asociadas con el GPS.

El programa establecido por el Grupo de Trabajo II del Proyecto SIRGAS y las coordinaciones realizadas con el Prof. Ing. Albert Schodlbauer y el Instituto Geodésico de la Universidad de las Fuerzas Armadas de Alemania, ha desarrollado el plan de acción de acuerdo al siguiente detalle:

- a) En el plan de trabajo anual IGN 1995 se realizó el control terrestre geodésico de cuatro puntos GPS de alta precisión para dar cumplimiento al desarrollo de las actividades del proyecto SIRGAS en las ciudades de Piura, Iquitos, Arequipa y Lima; en el período comprendido entre el 26 de mayo y 05 de junio de 1995 mediante el empleo de cuatro (04) brigadas de control terrestre para el establecimiento del Datum Geocéntrico y la red de puntos GPS de alta precisión de sudamerica, con registro de datos permanente durante las 24 horas x 6 días y sincronización de épocas cada 10 segundos en forma simultánea.
- b) En el plan de trabajo anual IGN 1996, se realizó el control terrestre de 28 puntos de precisión geodésica en cumplimiento del desarrollo de actividades del proyecto "SIRGAS-PERU" en las localidades de: Locumba, San Juan, Andahuaylas, Anta, Puerto Maldonado, Juliaca, Pisco, Huacho, Chimbote, Ayacucho, Huancayo, Cerro de Pasco, Pucallpa, Talaya, Puerto Esperanza, Trujillo, Chiclayo, Chachapoyas, Tumbes, Imacita, San Lorenzo, Tarapoto, Andoas, Curaray, Gueppi, Estrecho, Caballococha y Angamos, en el período comprendido entre el 20 de agosto y 07 de setiembre de 1996, mediante el empleo de 14 brigadas de control terrestre a fin de establecer estaciones geodésicas de

primer orden, con registro de datos en cada una de ellas durante 72 horas y sincronización de épocas cada 10 segundos; apoyados en las estaciones del proyecto SIRGAS en Arequipa, Lima, Piura e Iquitos con rastreo permanente durante la campaña programada empleando equipos GPS de doble frecuencia, para el cual se establecieron coordinaciones en forma permanente con el Instituto Geodésico de la Universidad de las Fuerzas Armadas de Alemania quienes comprometieron su participación y asesoramiento técnico en el desarrollo de la campaña del Proyecto “SIRGAS-PERU”, la cual se realizó sin novedad.

- c) En el Plan de Trabajo Anual IGN 1997 se ha programado realizar el control terrestre de la red básica GPS, para el cual se ha considerado la determinación de 120 estaciones de segundo orden enlazados a puntos de alta precisión del proyecto SIRGAS, con registro de datos en cada una de ellas por 24 horas y sincronización de épocas cada 10 segundos en forma simultánea, mediante el empleo de cinco (05) brigadas de control terrestre utilizando equipos GPS de doble frecuencia y última generación, el que vendrá a constituir la estructura geodésica en el Perú con determinaciones de coordenadas en WGS-84.

### **3.2.10.3- MAPA DE LA RED GEODESICA NACIONAL**

Ver Figura 3.10.

### **3.2.10.4- DESCRIPCION DE LA INTEGRACION A SIRGAS**

La integración al sistema de referencia geocéntrica para América del Sur SIRGAS, se realizó en principio al determinar cuatro (04) estaciones GPS de alta precisión con registro de datos en forma simultánea en todo el continente Sudamericano y en Perú se establecieron las estaciones en Arequipa, Lima, Piura e Iquitos.

Con la participación de personal IGN y personal técnico del Instituto Geodésico de la Universidad de las Fuerzas Armadas de Alemania se realizaron estos trabajos entre los meses de mayo y junio de 1995.

En 1996 se continuó con el desarrollo del proyecto “SIRGAS-PERU” al establecer 28 estaciones de primer orden para establecer la nueva red geodésica GPS en Perú y dar cumplimiento al convenio cooperación técnica, que estableció el Instituto Geográfico Nacional de Perú y el Instituto Geodésico de la Universidad de las Fuerzas Armadas de Alemania, siguiendo los lineamientos preparados por el Grupo de Trabajo II del proyecto SIRGAS sobre instrucciones generales para las mediciones GPS.

Las 28 estaciones se han ubicado en zonas de fácil acceso, y se han tomado en cuenta algunas estaciones de la red geodésica nacional clásica como es el caso de las bases de Ayabacas, Anta, Sama, Marcona, Las Salinas, Huancayo, Cerro de Pasco, Atalaya y Chimbote, las que son estaciones Laplace que nos permitirán apreciar con mayor claridad las diferencias en los parámetros de transformación de un sistema a otro ( $\Delta x, y, z$ ), obtenidos en WGS-84 con referencia al PSAD 56.

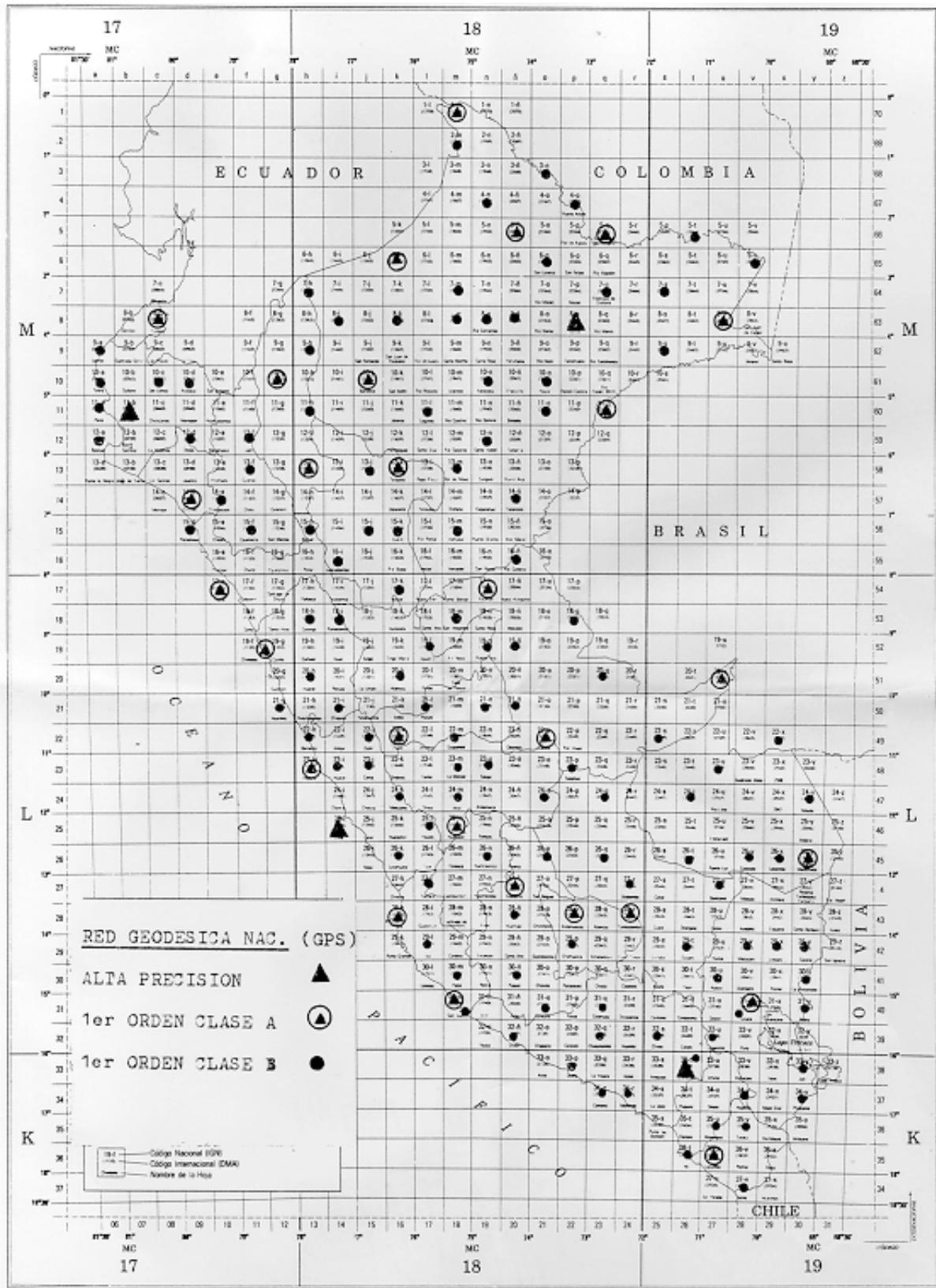


FIGURA 3.10: Mapa la red geodésica nacional de Perú

En el año 1997, el Instituto Geográfico Nacional en su afán de culminar con la red geodésica GPS, ha programado la determinación de aproximadamente 120 estaciones de segundo orden en todo el ámbito del territorio Peruano; mediante esta red se espera cubrir las expectativas geodésicas-cartográficas con coordenadas en el sistema WGS-84.

#### **3.2.10.5- ESTADO DE REALIZACION**

A 1997 el estado de realización del desarrollo del proyecto “SIRGAS” es el siguiente:

- a) Cuatro (04) estaciones de alta precisión determinadas con mediciones GPS en el método diferencial.
- b) Veintiocho (28) estaciones de primer orden determinadas con mediciones GPS en el método diferencial.
- c) Ciento veinte (120) estaciones de segundo orden programadas para la red básica.

#### **3.2.10.6- PROGRAMACION PARA OBTENCION DE RESULTADOS FINALES**

La programación para la obtención de resultados finales es el siguiente:

- a) Resultado de las observaciones de la red SIRGAS 1995 a nivel Sudamérica: AGO 97.
- b) Resultado de las observaciones de la Red SIRGAS-PERU 1996 a nivel nacional: NOV 97.
- c) Resultado de las observaciones de la densificación de la red SIRGAS-PERU: DIC 97.

#### **3.2.11- SURINAM**

Sin información.

#### **3.2.12- TRINIDAD Y TOBAGO**

Sin información.

### **3.2.13- URUGUAY**

#### **3.2.13.1- INTRODUCCION**

La República Oriental del Uruguay participó activamente en el desarrollo del Proyecto SIRGAS desde sus comienzos en el año 1993.

En el país este Proyecto se tomó como un desafío colectivo y diversas instituciones públicas, encabezadas por el Servicio Geográfico Militar (SGM, organismo responsable de la cartografía a nivel nacional) y el Instituto de Agrimensura (IA, principal instituto de enseñanza en el área geodésica), aunaron esfuerzos en el entendido de que éste materializaba en forma sumamente pragmática la integración regional y continental de que tanto escuchamos a diario. Así estas instituciones y otros organismos competentes en el área del transporte nacional y el catastro proporcionaron los elementos necesarios en equipamiento o personal que posibilitaron la ejecución de la campaña y la densificación de las estaciones a nivel nacional.

#### **3.2.13.2- CUMPLIMIENTOS DE OBJETIVOS ESTABLECIDOS**

Uruguay estableció tres estaciones SIRGAS durante la campaña de mayo/junio de 1995. Las tres fueron medidas por el SGM con receptores Ashtech Z-12. Asimismo y aprovechando la campaña se densificaron las estaciones GPS, midiendo 5 adicionales con receptores Leica por parte del IA, con el apoyo de diversos organismos nacionales. En los años 1996 y 1997 diversas líneas de base fueron establecidas sobre vértices de la red geodésica. En abril de 1997 se agregaron 4 estaciones GPS, completando de esta forma la observación sobre los puntos de Laplace y cruces de cadena importantes de la red clásica, con vistas a su futura integración a SIRGAS.

De acuerdo a las resoluciones establecidas en la reunión de Santiago en agosto de 1996, fue decidido a nivel nacional realizar el reajuste de la red geodésica nacional de 1er. Orden, consistente en unas 420 estaciones de triangulación clásica, en el marco de las 3 estaciones SIRGAS establecidas e incorporando unas 10 estaciones de densificación y líneas de base GPS. Estas estaciones y líneas fueron medidas en el transcurso de la campaña SIRGAS en mayo/junio 95 y posteriormente.

Esta estrategia de integración permite aprovechar la red geodésica existente, de fácil acceso, con un porcentaje de destrucción inferior al 30%, obteniendo al mismo tiempo parámetros de transformación adecuados para cartografía a grandes escalas. Para la ejecución del proyecto de integración llamado “la redefinición de la red geodésica nacional en el marco SIRGAS”, se conjuntaron a nivel nacional e internacional el SGM, el IA y el Instituto Brasileño de Geografía y Estadística (IBGE), con la asesoría además del Servicio Geológico de Canadá.

### **3.2.13.3- ESTADÍSTICAS DE LA RED GEODESICA NACIONAL A AJUSTAR**

Ver Figura 3.11.

#### **a) RED CLASICA**

- 422 estaciones de triangulación
- 27 bases geodésicas y mediciones electrónicas
- 12 estaciones de Laplace y azimutes astronómicos

#### **b) ESTACIONES TRIDIMENSIONALES**

- 3 estaciones SIRGAS, coordenadas ITRF 1995.4
- 9 estaciones adicionales, líneas de base a reprocesar y determinar (unas 60 líneas)

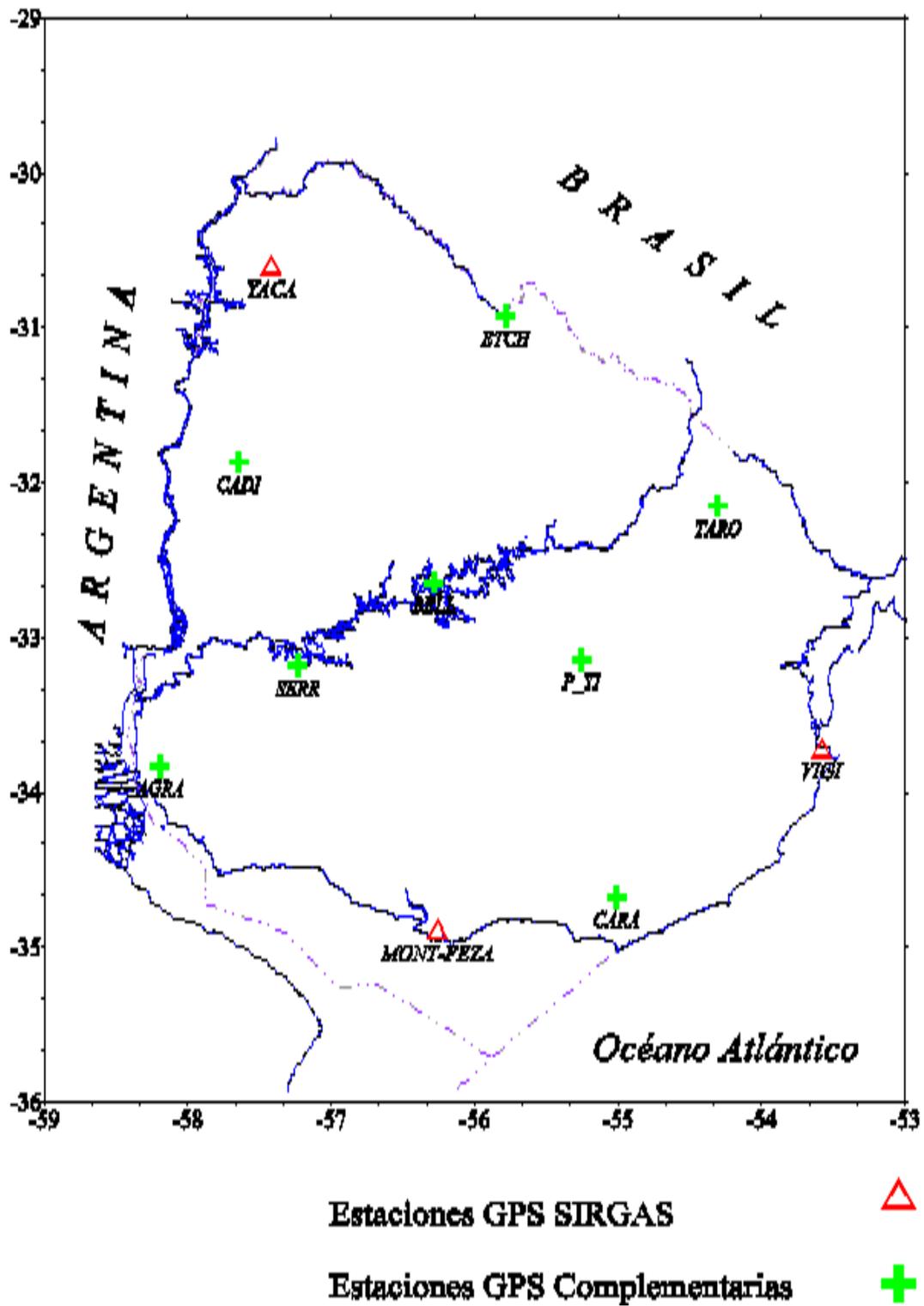


FIGURA 3.11: Mapa de las estaciones tridimensionales de la red geodésica nacional de Uruguay

### **3.2.14- VENEZUELA**

#### **3.2.14.1- INTRODUCCION**

El Servicio Autónomo de Geografía y Cartografía Nacional, adscrito al Ministerio del Ambiente y de los Recursos Naturales Renovables, es el ente rector de la Geodesia y Cartografía en Venezuela.

Con el objetivo de cumplir con este rol, durante el año 1994 y comienzos de 1995, se planificó el establecimiento de una nueva Red Geodésica para el país. De esta manera surgió REGVEN, red GPS Venezolana, la cual fue medida desde el 20 de mayo al 16 junio de 1995, coincidiendo con la campaña de medición SIRGAS del 26 de mayo al 04 de junio de 1995. REGVEN fue procesada por el Instituto Alemán de Investigaciones Geodésicas DGFI, utilizando el software BERNESE y efemérides precisas.

#### **3.2.14.2- INTEGRACION DE LAS REDES NACIONALES A SIRGAS**

REGVEN consta de 67 vértices conectados a la red SIRGAS en las estaciones Maracaibo (3), Junquito (34), Agua Linda (49), Canoa (59), Kamá (71).

REGVEN vendrá a formar parte del nuevo control geodésico Venezolano, integrado a SIRGAS.

En relación a nuestra red de triangulación clásica, actualmente estamos realizando los trabajos respectivos para obtener los parámetros de transformación entre PSAD 56 y SIRGAS, y de esta manera transformar todas las coordenadas a SIRGAS.

En relación a la Región Sur del país (estados Amazonas y Bolívar), durante los años 92 y 93 se estableció una Red GPS en el Sur de Venezuela. Actualmente estamos calculando nuevamente esta Red y conectándola a SIRGAS con las estaciones comunes (Agua Linda, Canoa, y Kamá) y con las estaciones REGVEN, Canaima (69), Guardia (66), Mata de Maza (68), Dorado (70).

#### **3.2.14.3- MAPA DE LA RED GEODESICA NACIONAL**

Ver Figura 3.12.

#### **3.2.14.4- ESTADO DE LA REALIZACION DE LA RED**

Con la determinación de las coordenadas de la Red SIRGAS y su aprobación en la V Reunión SIRGAS en Isla de Margarita en abril 97, ya REGVEN ha sido totalmente calculada, mientras que el recálculo de la Red GPS. en el Sur de Venezuela estará terminada para agosto 97 y para la misma fecha obtendremos los parámetros de transferencia SIRGAS-PSAD 56 y de esta manera transformar toda la red de triangulación a SIRGAS.

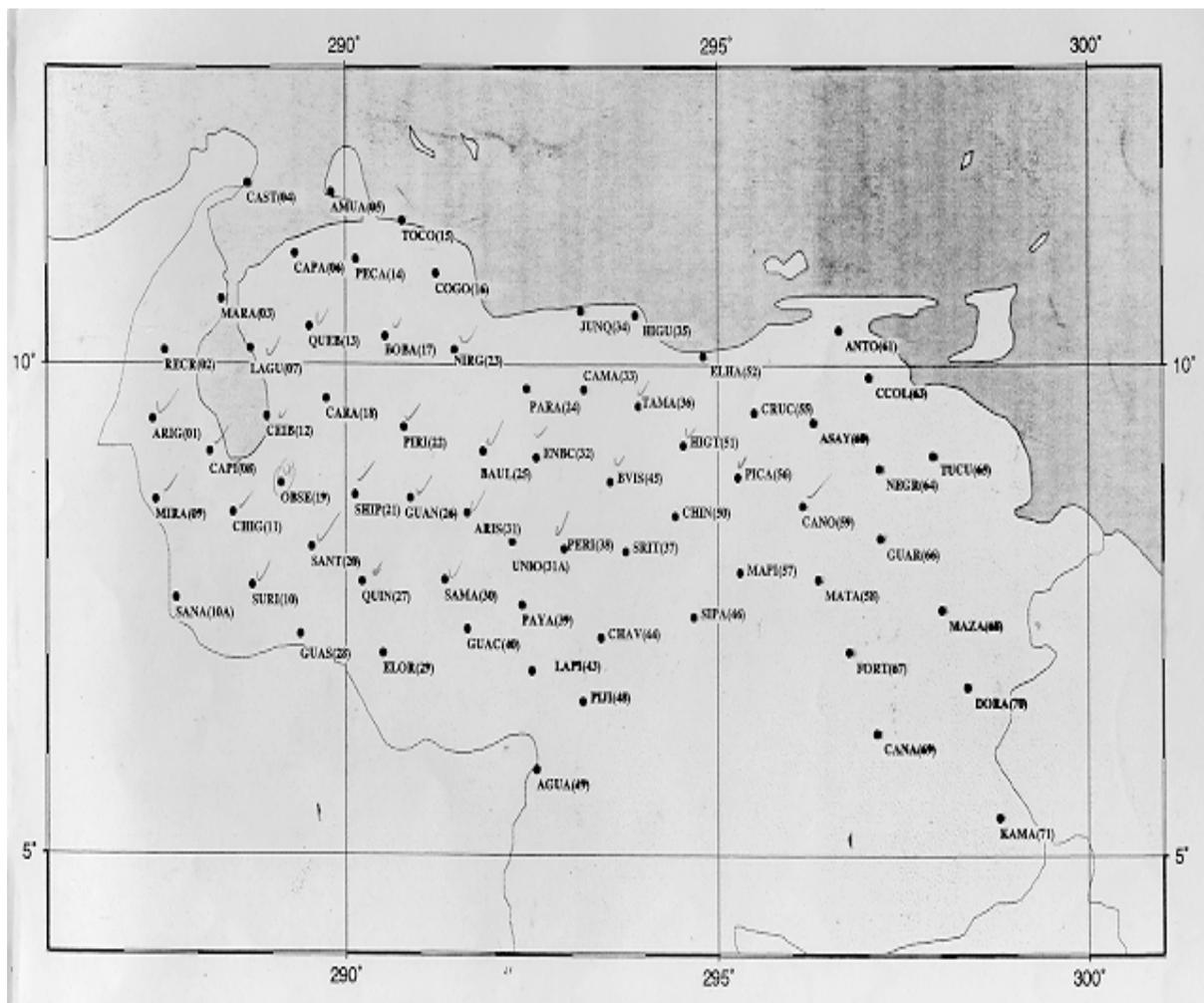


FIGURA 3.12: Mapa de REGVEN, la red GPS Venezolana

### 3.2.14.5- FECHA DE OBTENCION DE RESULTADOS FINALES

Para septiembre de 1997, todas las coordenadas de vértices geodésicos en Venezuela quedarán establecidos en el sistema SIRGAS, estando a disposición para los usuarios en la fecha antes mencionada.

## **Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul**

### **Relatório Final**

#### **Grupos de Trabalho I e II**

Iniciado na Conferência de Assunção, com a participação dos países sul-americanos, este projeto tem como objetivo principal definir um sistema de referência e um *datum* geocêntrico para a América do Sul.

Nesta publicação são apresentadas a estrutura e composição do projeto, as atividades desenvolvidas pelos grupos de trabalho visando ao cumprimento dos objetivos e à contribuição individual dos países-membros.

A publicação, editada em duas versões, português/espanhol e inglês, é ilustrada com tabelas e figuras.