



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

## **INTRODUCCION AL SISTEMA DE POSICIONAMIENTO GLOBAL**

**TEMA: AN INTRODUCTION TO THE ELECTRONIC CHART  
DISPLAY AND INFORMATION SYSTEM**

**AUTOR: DR. GALO CARRERA  
EXPOSITOR: DR. GALO CARRERA  
MARINE AFFAIRS PROGRAM  
1996**



# **An Introduction to the Electronic Chart Display and Information System**

Galo Carrera

Marine Affairs Program  
Dalhousie University  
Halifax, Nova Scotia, Canada

# Overview

- **The Navigation Challenge**
- **Conventional Methods and Modern Demands**
- **ECDIS: Objectives, Components, and Advantages**
- **International Cooperation**
- **Scientific and Technical Obstacles**
- **Future Developments**
- **Conclusions**

# **The Navigation Challenge**

## **Route Planning:**

**Selection of the safest and most economic vessel navigation path from origin to destination**

## **Positioning:**

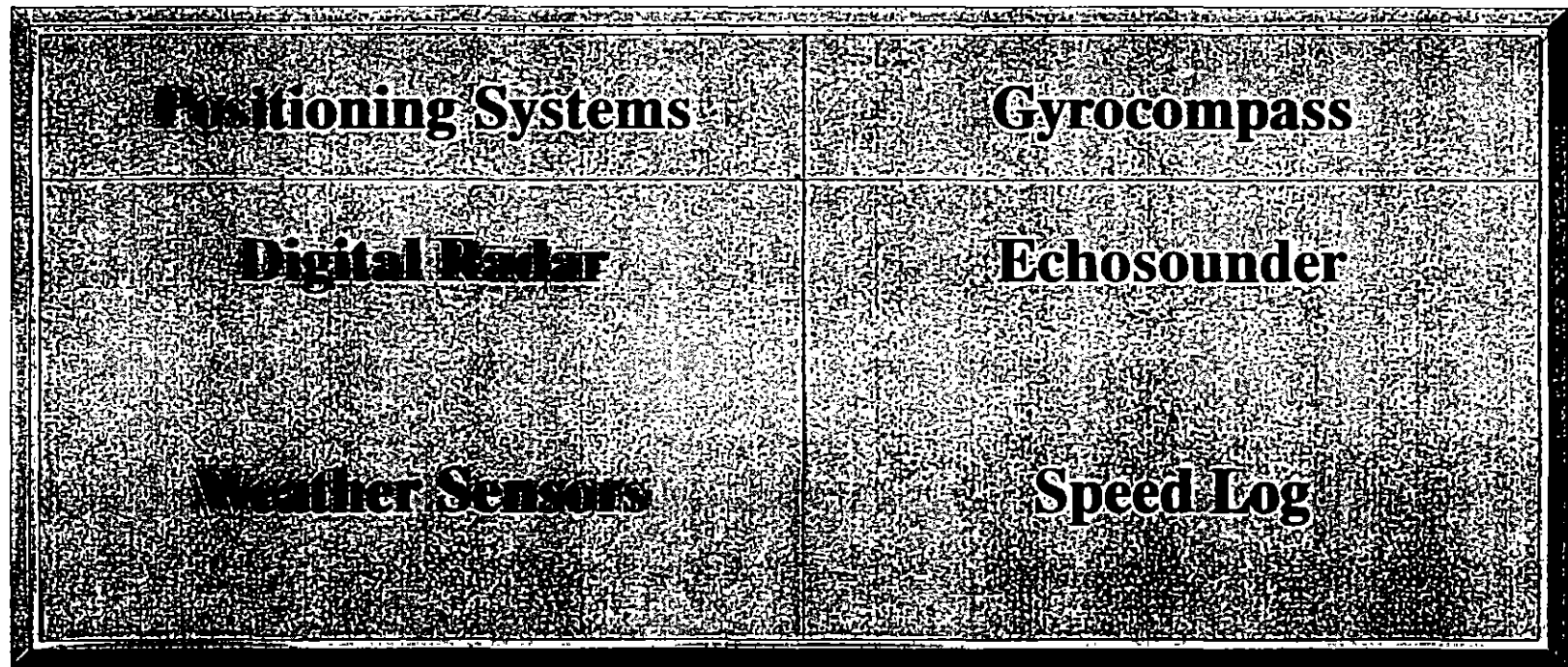
**Determination of the geographic location and heading of the vessel**

## **Collision and Grounding Avoidance:**

**Dynamic determination of navigational hazards and relative location to other vessels**

# Conventional Navigation Tools

- **Paper nautical charts: Historic positions plotted manually**
- **Individual sensors controlled separately:**



# **Modern Navigation Demands**

**Today's mariners confront important challenges:**

**Increased Harbour traffic and tight schedules**

**Attention to multiple independent displays on the bridge**

**Faster and larger ships whose drafts leave very small margins for error**

## **A Mariner's Paradox**

**As the number of displays on the bridge grows, the time actually devoted by mariners to the safe navigation of their vessel shrinks.**

**Question: At what point does the addition of an extra support system display become a burden instead of an aid to safe navigation?**



# **A Multiple Answer Question**

**Question: In view of the valuable information provided by an ever increasing number of support systems and sensors displays on the bridge, a mariner should:**

- A. Add every new display regardless of their number**
- B. Increase the number of crew members**
- C. Build a larger bridge**
- D. Get a larger vessel to do the job**
- E. None of the above**

# **A Mariner's Wishlist**

**The task of safe navigation could be accomplished more easily if the following tools became available:**

**an information management tool to interpret the output of multiple independent sensors**

**a real time navigation tool, i.e., real time positioning and geographic display**

**a warning tool to help avoid the risks of grounding and collision**

# **The Electronic Chart Display and Information System (ECDIS)**

**ECDIS is a rapidly evolving concept but there is already widespread consensus among the international maritime community in relation to three key areas:**

- **Design Objectives**
- **Software and Hardware Components**
- **Strategic Advantages**

# **ECDIS Objectives**

**ECDIS is currently designed to meet the following objectives:**

- **to reduce personal casualties, environmental damage, and economic losses by helping avoid the incidence of collisions and groundings**
- **to improve the efficiency of vessel operation through reduced navigation workload, improved planning, and improved track-keeping**
- **to become an additional component of an integrated system for more efficient and effective vessel management**

# **ECDIS Implementation**

**The following key requirements in the practical implementation of ECDIS remain to be resolved:**

- ***Display:* minimum and standard content, size, resolution, colors, and symbols**
- ***Functionality:* minimum required tasks and standard user interface**
- ***Data Exchange Format:* adoption of the proposed DX90 format**
- ***Updates:* feasibility and redundancy**

# **ECDIS Components**

**ECDIS is made possible by various enabling technologies:**

- **Real Time Positioning Systems**
- **Digital Radar**
- **Geographic Information Systems**
- **Powerful Computer Systems**
- **High Resolution Displays**

# Positioning Systems

- **Terrestrial Radio Positioning Systems:**

- ◆ **Super-High-Frequency** SHF
- ◆ **Ultra-High-Frequency** UHF
- ◆ **Medium Frequency** MF
- ◆ **Low Frequency** LF
- ◆ **Very Low Frequency** VLF

- **Extraterrestrial Satellite Positioning Systems:**

- ◆ **Global Positioning System** GPS
- ◆ **Global Navigation Satellite System** GLONASS

# The Radio Spectrum

- Super High Frequency SHF 3 GHz - 30 GHz
- Ultra High Frequency UHF 300 MHz - 3 GHz
- Very High Frequency VHF 30 MHz - 300 MHz
- High Frequency HF 3 MHz - 30 MHz
- Medium Frequency MF 300 kHz - 3 MHz
- Low Frequency LF 30 kHz - 300 kHz
- Very Low Frequency VLF 10 kHz - 30 kHz



# Super High Frequency (SHF) Positioning Systems

System	Mode	Mobiles	Range
Motorola MiniRanger III	Range/Range	10 sharing	37 km
Motorola MiniRanger IV	Range/Range	10 sharing	37 km - 74 km
Mitral Falcon IV	Range/Range	20 sharing	37 km - 74 km
Motorola Falcon 400	Range/Range	20 sharing	37 km - 74 km
Cubic Autotape DM	Range/Range	1	150 km
Tellurometer MRD1	Range/Range	up to 6	100 km
Tellurometer Hydroflex	Range/Range	6	40 km
CHL Artemis Mk III	Range/Bearing	1	30 km
ODOM Aztrac	Range/Azimuth	1	5 km - 20 km
SFC Andister 8D-100	Range/Range	1	100 km
Microlix 100C	Range	1	60 km
Del Norte Trisponder	Range/Range	8 sharing	80 km

# Ultra High Frequency (UHF) Positioning System

System	Mode	Mobiles	Range
SERCEL Syledis MRS SR3	Range/Range Hyperbolic	up to 4 unlimited	400 km
Thompson CSF Trident III	Range/Range	50 max	250 km
MAXIRAN	Range/Range	6	370 km
BelNorté UHF Disponder	Range/Range	8	3 * LOS

## Medium Frequency (MF) Positioning Systems

System	Mode	Mobiles	Range
ONI Spot	Range/Range	unlimited	700 km
ONI Microphase	Range/Range	unlimited	700 km
Cubic Western Argo	Range/Range Hyperbolic	7 - 12 unlimited	700 km
Racal HyperFix	Range/Range Hyperbolic	6 unlimited	700 km

## Low Frequency (LF) Positioning Systems

System	Mode	Mobiles	Range
LORAN C	Rho/Rho Hyperbolic	unlimited	2000 km
Acculinx and Pulse 8	Rho/Rho Hyperbolic	unlimited	500-800 km

# Very Low Frequency (VLF) Positioning Systems

System	Mode	Mobiles	Range
Omega	Hyperbolic	unlimited	Global

# GPS Positioning Modes

<b>Positioning</b>	<b>Static</b>	<b>Kinematic</b>
<b>Point</b>	<b>Geo-referencing</b>	<b>Low Accuracy Navigation</b>
<b>Differential</b>	<b>Geodynamics and Geodesy</b>	<b>High Accuracy Navigation</b>

# **Geographic Information Systems**

**A GIS is a set of hardware and software tools designed to collect, store, retrieve, transform, and display spatial data.**

**Three key issues confronted by GIS technologies are also related to the development of ECDIS:**

- **Real Time Line Generalization**
- **International Digital Data Exchange Standards**
- **Topologic Relationships: entities and attributes**

# **International Digital Exchange Standards**

## **DIGEST - Digital Geographic Information Exchange Standard:**

**A defined standard prepared by the Digital Geographic Information Working Group with membership from 11 nations**

## **SDTS - Data Transfer:**

**A general standard prepared by the American Congress for Surveying and Mapping in the US**

## **DX90 and Object Catalog - Transfer Standard for Digital Hydrographic Data:**

**A defined standard adopted by IHO and contained in Special Publication 57**



# Harmonization Efforts

**SDTS**

**DIGEST**

**DX-90**

**Feature and  
Attribute Coding  
Catalog FACC**

**Object  
Catalog**

# Topological Data Model

Relationship between the DIGEST Topological Data Model and the proposed DX-90 Topological Object Data Model

	DIGEST	DX-90
<b>Object Level</b>	Composite Object Simple Object	Composite Object Simple Object Picture Object
<b>Feature Level</b>	Text, Point, Line, and Area	Text, Point, and Line
<b>Primitive Level</b>	Point, Edge, Face, and Node	Point, Edge, Face Node, Simplex, and Vertex

# Computer Systems

**Computer systems have increased in performance doubling their speed by a factor of two and decreasing in price by half every 18 months for the last five years.**

**Today's systems contain:**

**Fast RISC processor units including parallel arrays**

**Large amounts of random access memory; and**

**Faster and higher density storage devices**

# **High Resolution Displays**

**Computer and terminal electronic displays have shown a dramatic improvement in graphic resolution defined in terms of horizontal by vertical picture elements (pixels) and the maximum amount of colors displayed:**

**From 640 x 480 to 1024 x 768 SVGA (8 bit color) for PC and Mac computers available today;**

**1280 x 1024 (8 and 24 bit color) for Unix Workstations and X terminals available today; and**

**1600 x 1280 and beyond (24 bit color) for Unix Workstations  
SOON**

# High Speed Graphics

**Today's systems include various kinds of accelerated displays:**

- **XGA, TI 34010 or 34020, local bus for PC architectures**
- **GX, GX plus and GT for Sun**
- **CRX for HP**
- **VGXT and Reality Engine for Silicon Graphics**

# **ECDIS Strategic Advantages**

- **Location and planned track in real-time**
- **Position relative to other vessels, charted features and navigation hazards**
- **Synchronized radar image with chart data**
- **Customizable graphics display screen**
- **Predict and extrapolate vessel's position**

# **ECDIS Display**

**ECDIS currently supports control over the display of the following among many other features:**

- **Vessel Outline: shape and orientation**
- **Chart Scale and Orientation: true north or course**
- **Chart Scroll: true or relative motion**
- **Vectors: speed and direction**
- **Predicted Vessel Position**
- **Route Points including search grids**

# **ECDIS Alarms**

**Some ECDIS already contain audible and visual alarms as warnings against visible or invisible navigation hazards:**

- **Heading**
- **Water Depth**
- **Distance from danger points**
- **Distance from intended course**



# **International Cooperation**

**Several International organizations participate actively in the implementation of ECDIS standards:**

- **International Maritime Organization (IMO)**
- **International Telecommunications Union (ITU)**
- **International Hydrographic Organization (IHO)**

# International Organizations

**International  
Maritime  
Organization**

**International  
Telecommunications  
Union**

**International  
Hydrographic  
Organization**

**Committee  
on Safety of  
Navigation**

**International Radio  
Consultative  
Committee**

**Committee on  
Electronic Charts**

**IMO-IHO  
Harmonization  
Committee on  
Electronic Charts**

**International  
Telephone and  
Telegraph  
Consultative  
Committee**

**Committee on  
the Exchange  
of Digital Data**

# International Hydrographic Organization

**IHO Committee on Electronic Charts**

**Specifications  
Working Group**

**Definitions  
Working Group**

**Updating  
Working Group**

**Quality of Digital Data  
Working Group**

**Data Base  
Working Group**

**Colours and Symbols  
Working Group**

# **IMO-IHO Regulatory Premise**

**The underlying aim of regulatory international organizations in the implementation of ECDIS standards is to enable this technology to become functionally equivalent to the conventional paper chart for carriage purposes under the Safety of Life at Sea (SOLAS) Convention.**

# **Objectives of the IMO ECDIS Standard**

**The objectives of the future IMO ECDIS standard are:**

- **To assure a minimum standard of quality and functionality**
- **To resolve the legal and liability issues surrounding the use of ECDIS**
- **To further the progress of ECDIS and its easy addition to integrated vessel management systems in the future**

# **Scientific and Technical Obstacles**

**Two of the most important scientific and technical obstacles confronted by the international hydrographic community during the development of ECDIS are:**

- **Collection of digital information with a worldwide coverage with a minimum standard of accuracy to develop an Electronic Chart Data Base (ECDB)**
- **Topologic organization of all the features in ECDIS to allow for color coding and "fill in" of areas and polygons**

# **Raster and Vector Information**

**The two basic formats in which digital information can be stored are:**

- ***Raster:***

**Scalar values described as a regular grid of cells or pixels**

- ***Vector:***

**Geometric elements expressing magnitude, direction and connectivity**

# Advantages and Disadvantages of Raster and Vector Information

	Raster	Vector
Advantages	Inexpensive: color scanners are fast and accurate	Flexible: easy overlays on demand
Disadvantages	Inflexible: all information all of the time	Expensive: digitizing and editing

38



# **Key Factors Involved in the Future Development of ECDIS**

**Further development of enabling technologies**

**Establishment of standards by regulatory bodies**

**Development of an Electronic Chart Data Base (ECDB)**

**Creation of the infrastructure to deliver data and updates**

**Concern for the environment, and the loss of property and life**

**Acceptance in the commercial market**

# **Conclusions**

**ECDIS is made possible by the availability and advancement of various enabling technologies**

**ECDIS is a valuable information management tool designed to routinely confront increased marine traffic in confined waters**

**ECDIS most important contribution lies in the prevention of environmental accidents and the loss of life and property**

**ECDIS is the object of great attention by national and international organizations which aim to establish quality standards and promote its continuous development**

40

# A Glossary of Terms

<b>Acronym</b>	<b>Explanation</b>
EC	Electronic Chart
ECDIS	Electronic Chart Display and Information System
ENC	Electronic Navigation Chart
ECDB	Electronic Chart Data Base
SENC	System Electronic Navigation Chart

# **What ECDIS is and is not**

## **ECDIS is**

- **an operational navigation display**
- **an interpreter of sensors**
- **a source of real time information**

## **ECDIS is not**

- **a paper chart in video form**
- **another sensor**
- **a source of static information**

# GPS Satellite Constellation

Current Deployment in 1995

Orbit Plane	Operational Satellites (SVN/PRN)			
	1	2	3	4
A	39/09	25/25	27/27	19/19
B	22/22	20/20	13/02	35/05
C	36/06	28/28	31/31	37/37
D	24/24	15/15	17/17	34/04
E	14/14	21/21	16/16	23/23
F	32/01	26/26	18/18	29/29

43

# Navstar GPS Constellation Status

---

## Block IIA

Seq	SVN	PRN Code	International ID	NASA Catalog Number	Orbit Plane Slot	Launch Date (UT)	Clock	Available
II-10	23	23	1990-103A	20959	E-4	90-11-26	Cs	90-12-10
II-11	24	24	1991-047A	21552	D-1	91-07-04	Rb	91-08-30
II-12	25	25	1992-009A	21890	A-2	92-02-23	Cs	92-03-24
II-13	28	28	1992-019A	21930	C-2	92-04-10	Cs	92-04-25
II-14	26	26	1992-039A	22014	F-2	92-07-07	Cs	92-07-23
II-15	27	27	1992-058A	22108	A-3	92-09-09	Cs	92-09-30
II-16	32	01	1992-079A	22231	F-1	92-11-22	Cs	92-12-11
II-17	29	29	1992-089A	22275	F-4	92-12-18	Cs	93-01-05
II-18	22	22	1993-007A	22446	B-1	93-02-03	Cs	93-04-04
II-19	31	31	1993-017A	22581	C-3	93-03-30	Rb	93-04-13
II-20	37	07	1993-032A	22657	C-4	93-05-13	Cs	93-06-12
II-21	39	09	1993-042A	22700	A-1	93-06-26	Cs	93-07-20
II-22	35	05	1993-054A	22779	B-4	93-08-30	Cs	93-09-28
II-23	34	04	1993-068A	22877	D-4	93-10-26	Cs	93-11-22
II-24	36	06	1994-016A	23027	C-1	94-03-10	Rb	94-03-28

# Navstar GPS Constellation Status

---

## Block II

Seq	SVN	PRN Code	International ID	NASA Catalog Number	Orbit Plane Slot	Launch Date (UT)	Clock	Available
II-1	14	14	1989-013A	19802	E-1	89-02-14	Cs	89-04-15
II-2	13	02	1989-044A	20061	B-3	89-06-10	Cs	89-08-10
II-3	16	16	1989-064A	20185	E-3	89-08-18	Cs	89-10-14
II-4	19	19	1989-085A	20302	A-4	89-10-21	Rb	89-11-23
II-5	17	17	1989-097A	20361	D-3	89-12-11	Cs	90-01-06
II-6	18	18	1990-008A	20452	F-3	90-01-24	Cs	90-02-14
II-7	20	20	1990-025A	20533	B-2	90-03-26	Rb	90-04-18
II-8	21	21	1990-068A	20724	E-2	90-08-02	Cs	90-08-22
II-9	15	15	1990-088A	20830	D-2	90-10-01	Cs	90-10-15

# PRARE Tracking Network

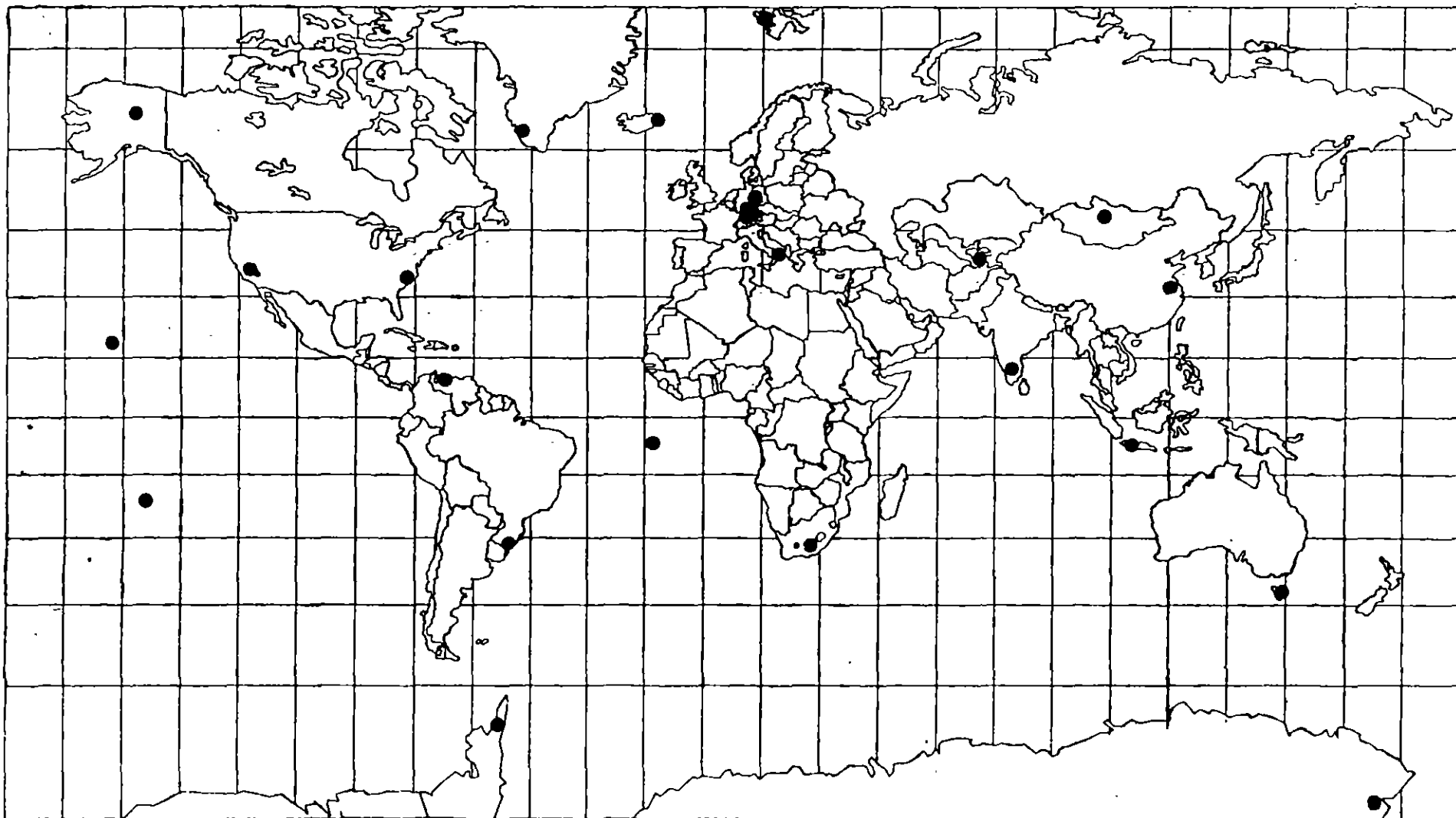
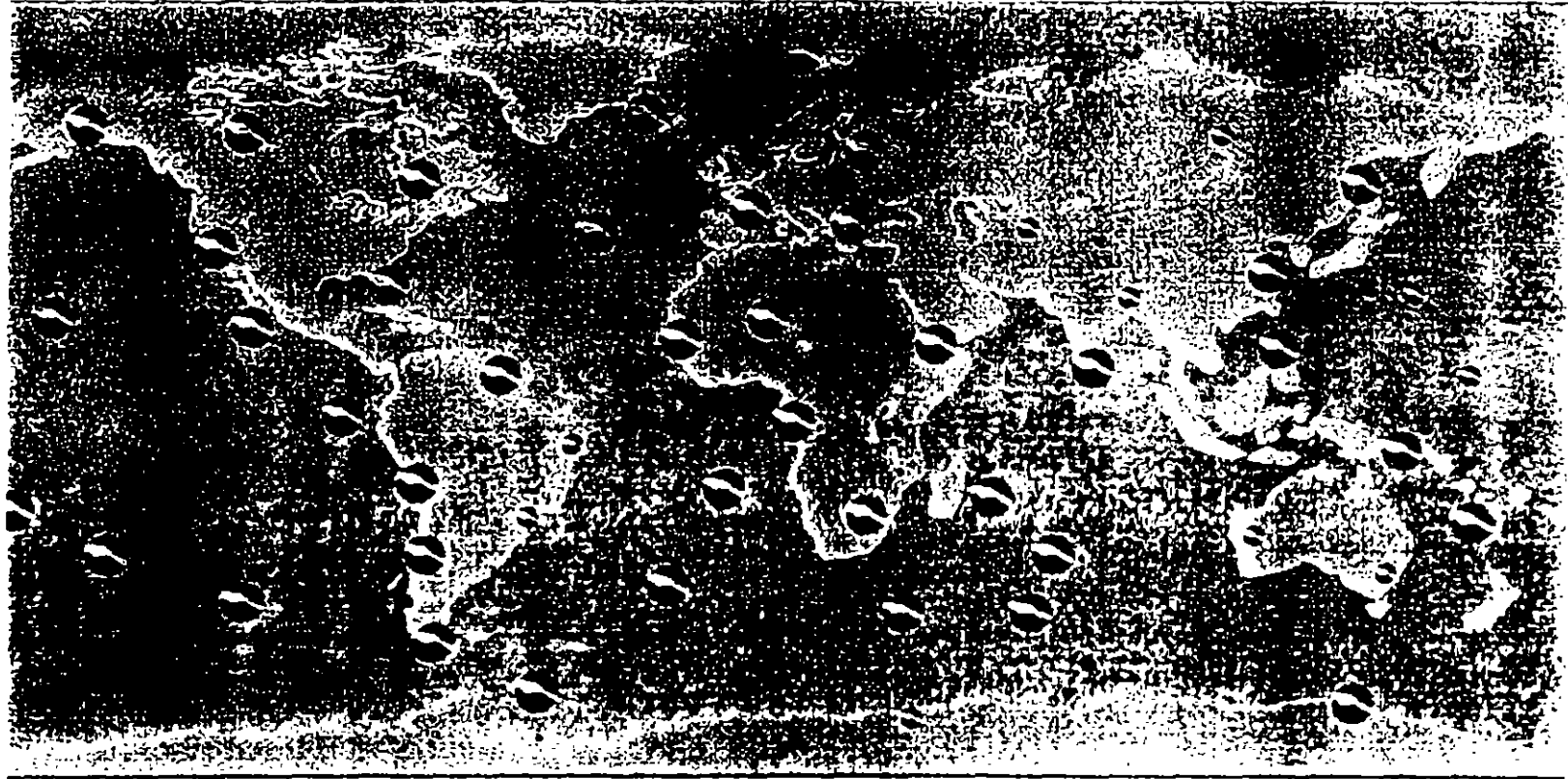


Figure 6



# Global Net of DORIS Stations

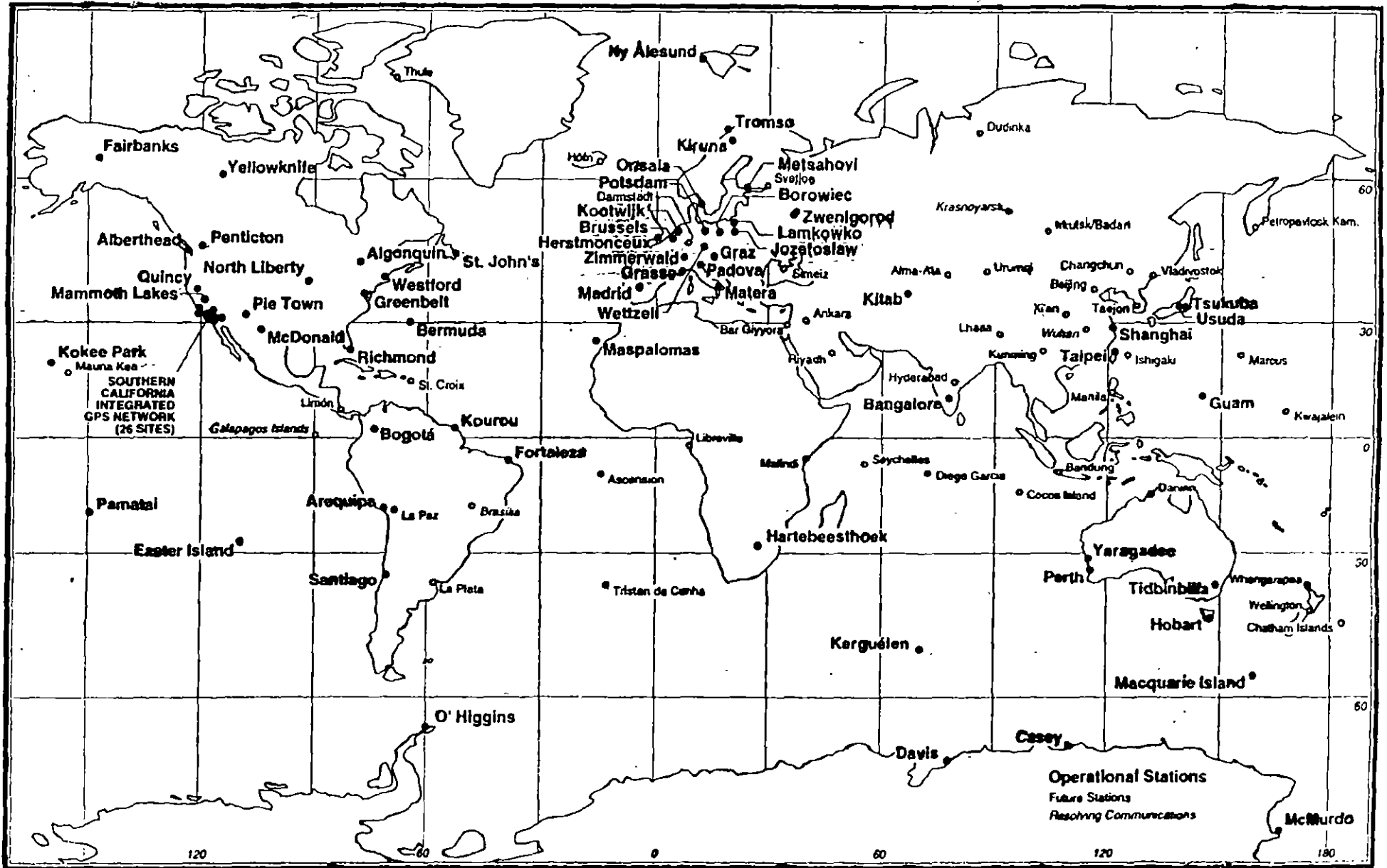


BALISES D'ORBITOGRAPHIE DORIS (Juillet 1991)

● Installées    ● En projet

Figure 5

# GPS TRACKING NETWORK OF THE INTERNATIONAL GPS SERVICE FOR GEODYNAMICS OPERATIONAL AND PLANNED STATIONS



from IGS Resource Information, May 1995

Figure 4

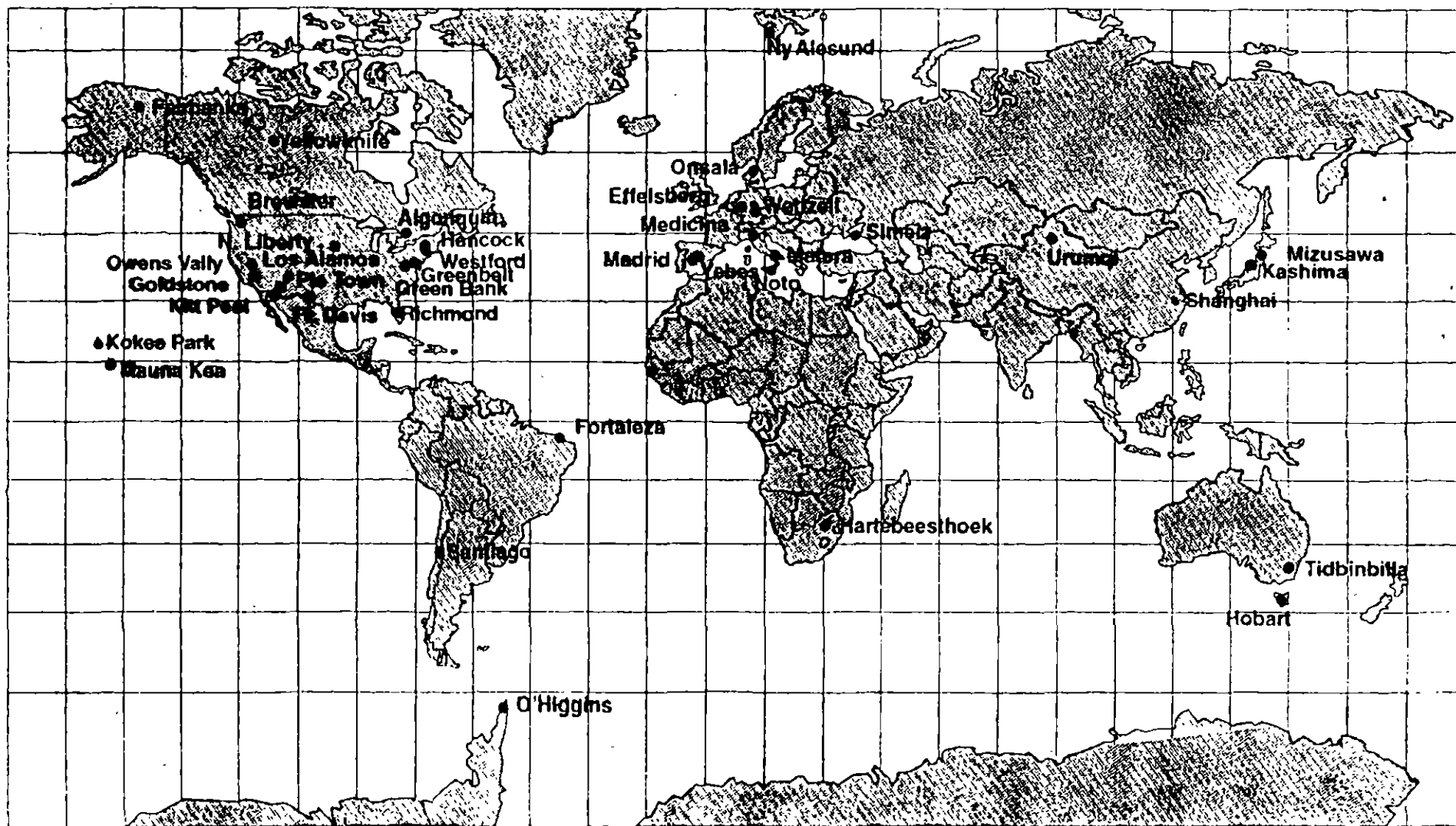
# GLONASS Satellite Constellation

Current Deployment in 1995

Orbit Plane 1	Orbit Plane 2	Orbit Plane 3
1-771	9-	17-760
2-757	10-781	18-758
3-763	11-785	19-777
4-762	12-767	20-765
5-249	13-	21-756
6-764	14-770	22-766
7-759	15-780	23-761
8-769	16-775	24-774

b4

# The Global VLBI Observatory Network



CS

Information taken from CDDI: (1995) 10/3

Figure 2



# Global Net of Superconducting Gravimeter Stations

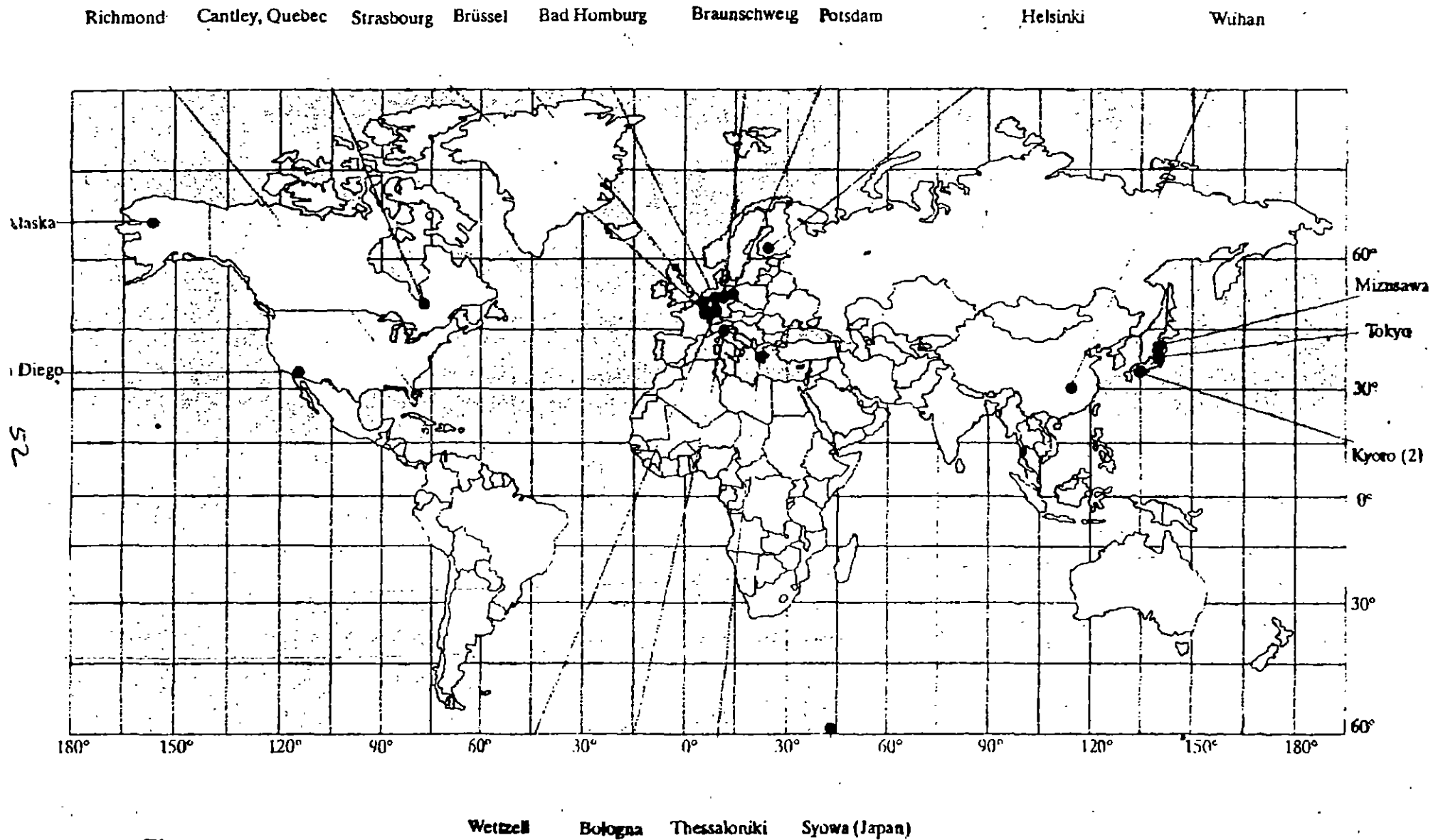


Figure 7



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.  
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

INDROUCCION AL SISTEMA DE POSISIONAMIENTO  
GLOBAL

ESTRUCTURA DE NAVSTAR  
GPS

DR. GALO CARRERA 1996

# Contenido

- Introducción
- Segmentos Espacial, de Control y de Usuarios
- Descripción de la Señal GPS
- Tipos de Medidas
- Disponibilidad Selectiva (SA)
- El Futuro de GPS y GLONASS
- Conclusiones



# Estructura de NAVSTAR GPS

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) para la Navegación Satelital, Control de Tiempo y Medición de Distancias (NAVSTAR) está compuesto por tres segmentos:

- Segmento Espacial: 24 satélites
- Segmento de Control: 5 estaciones de control
- Segmento de Usuarios: sectores civiles y militares

---

# **El Segmento Espacial de GPS**

El despliegue total del segmento espacial está proyectado para finales de 1993:

- 21 satélites del Bloque II
- 3 satélites de repuesto en órbita
- Los satélites están ubicados en órbitas circulares a una altura de 20,000 Km con un período de 12 horas
- La vida media de cada satélite es de 7.5 años

# Funciones de los Satélites GPS

- Recibir y almacenar información proveniente del *segmento de control*
- Un limitado procesado de datos en órbita
- Mantener tiempo preciso a través de cuatro relojes: dos relojes de Rb y dos de Cs
- Transmitir mensajes al *segmento de usuarios*
- Maniobrar en respuesta a instrucciones dadas por el *segmento de control*

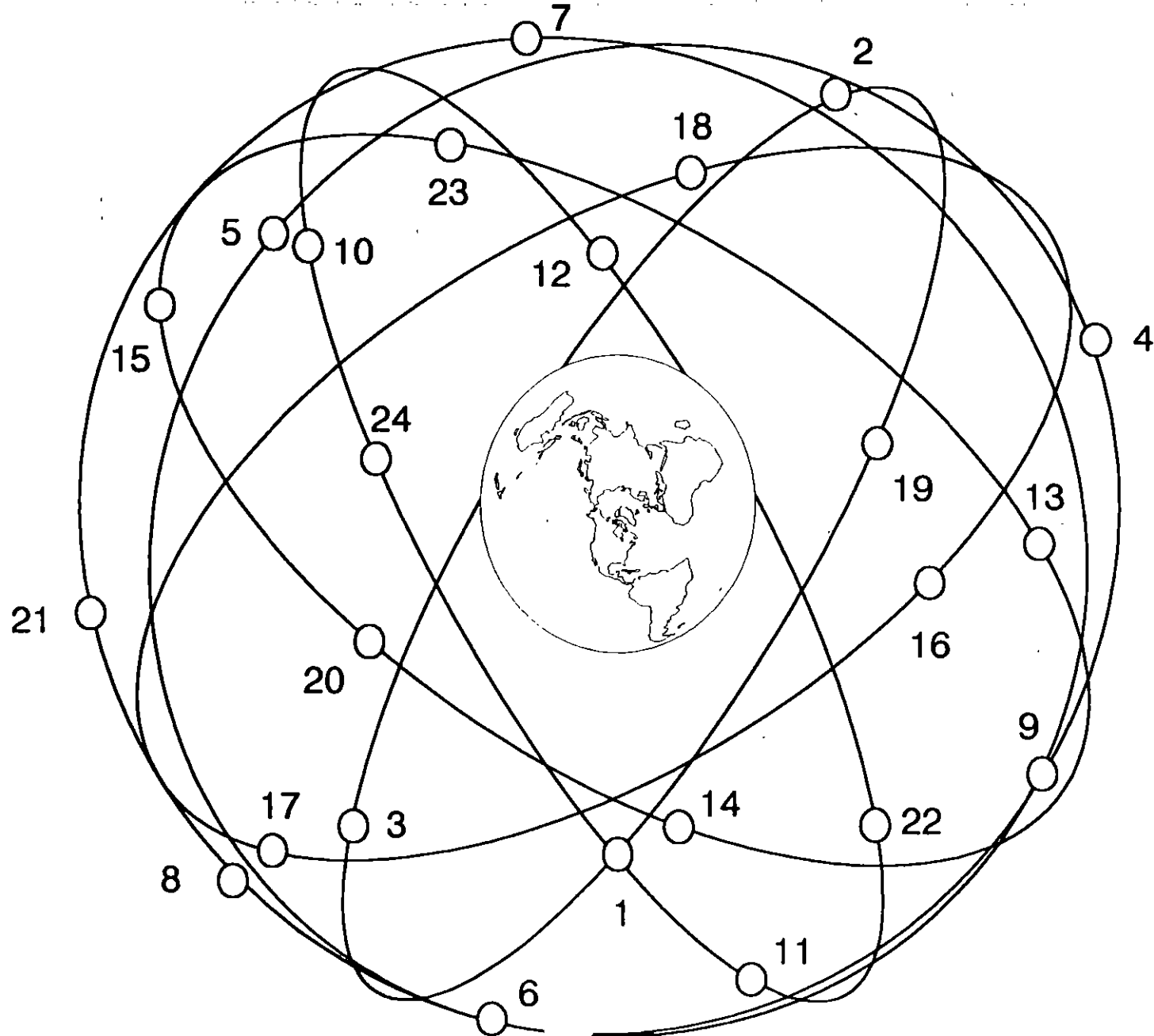
# Orbitas de los Satélites GPS

Despliegue proyectado para finales de 1993

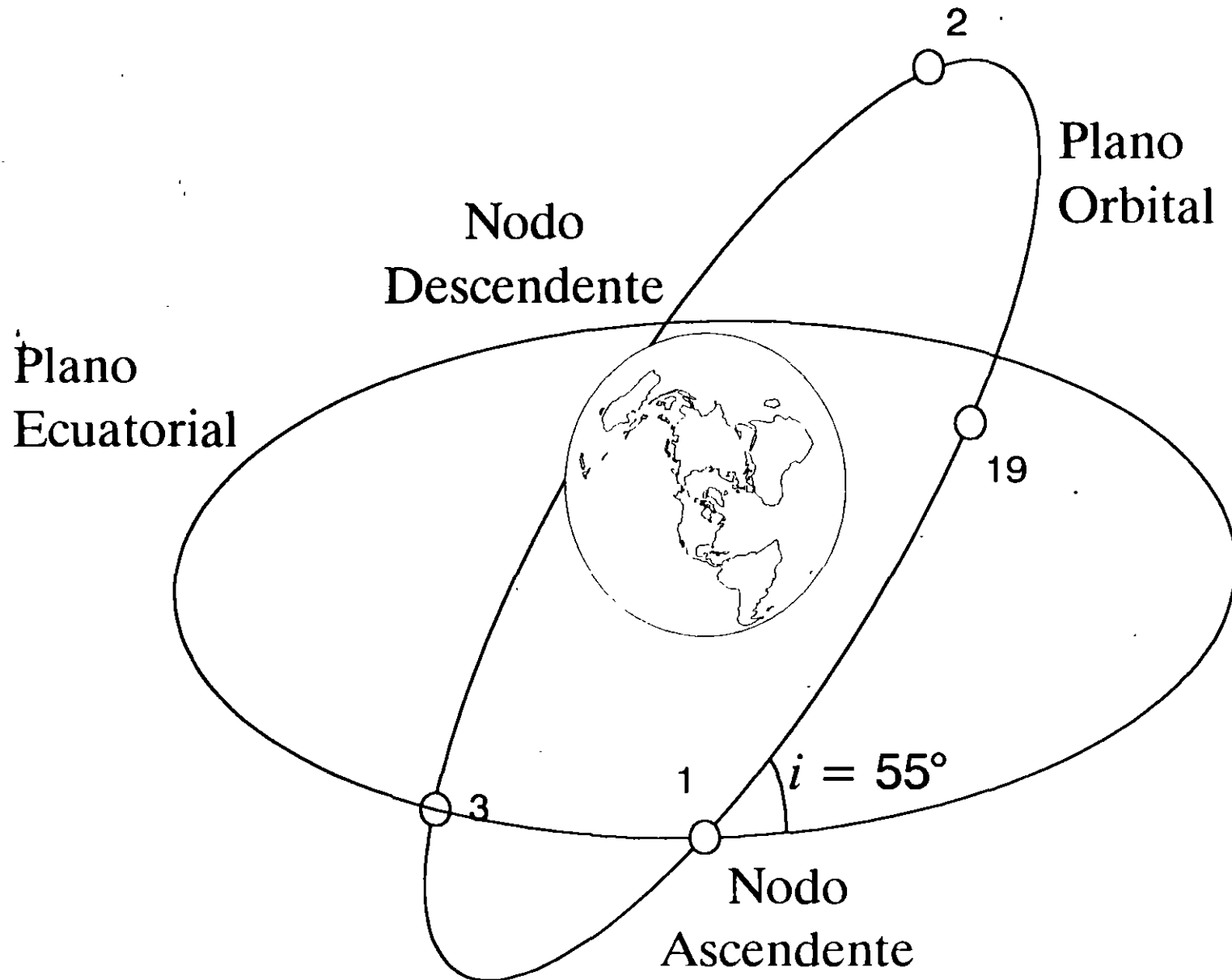
Plano Orbital	Satélites Operacionales			Repuestos Activos
A	1	2	3	19
B	4	5	6	
C	7	8	9	21
D	10	11	12	
E	13	14	15	20
F	16	17	18	

Geometrix - Geodetic and Hydrographic Research Inc.

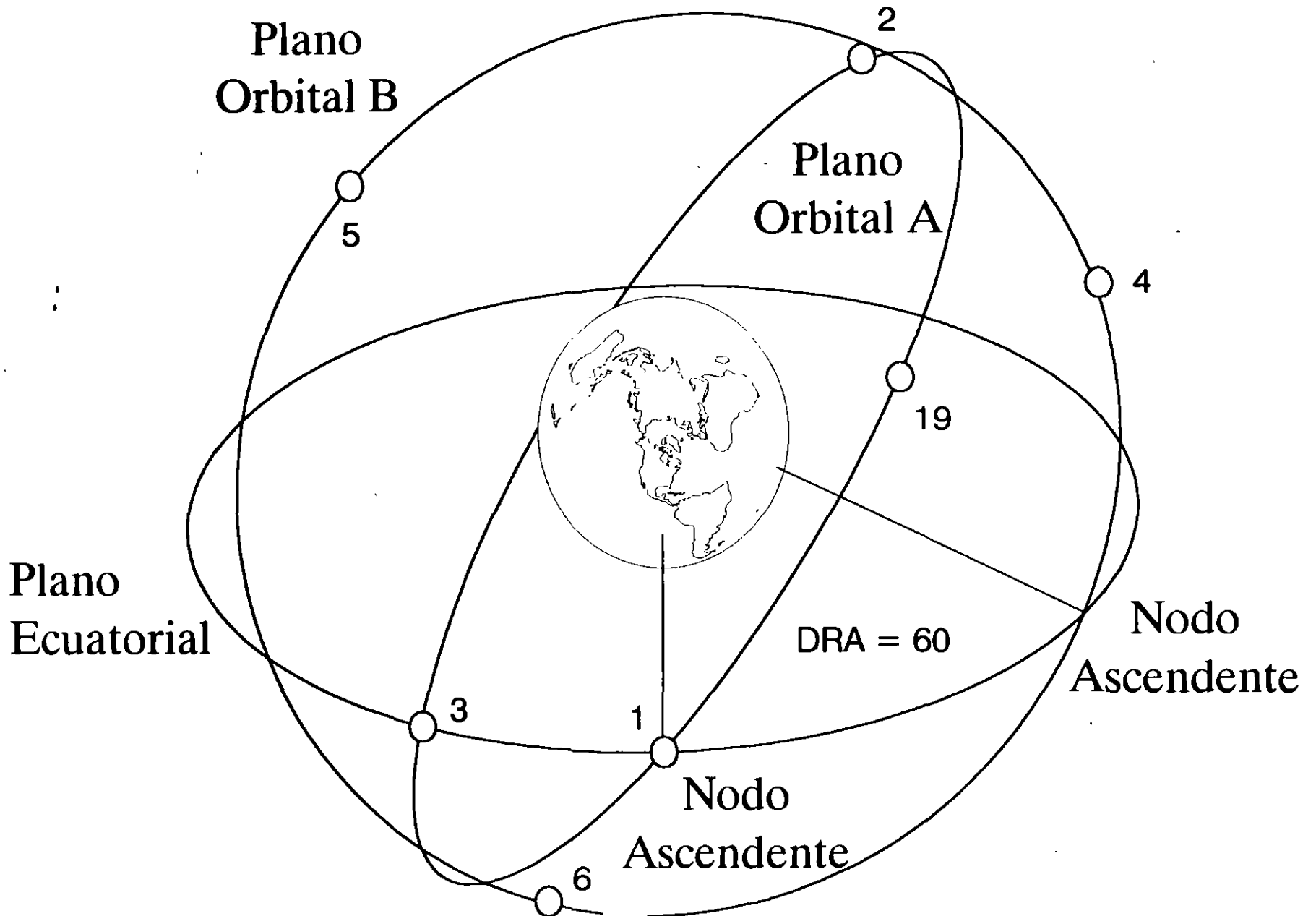
# Constelación Satelital GPS



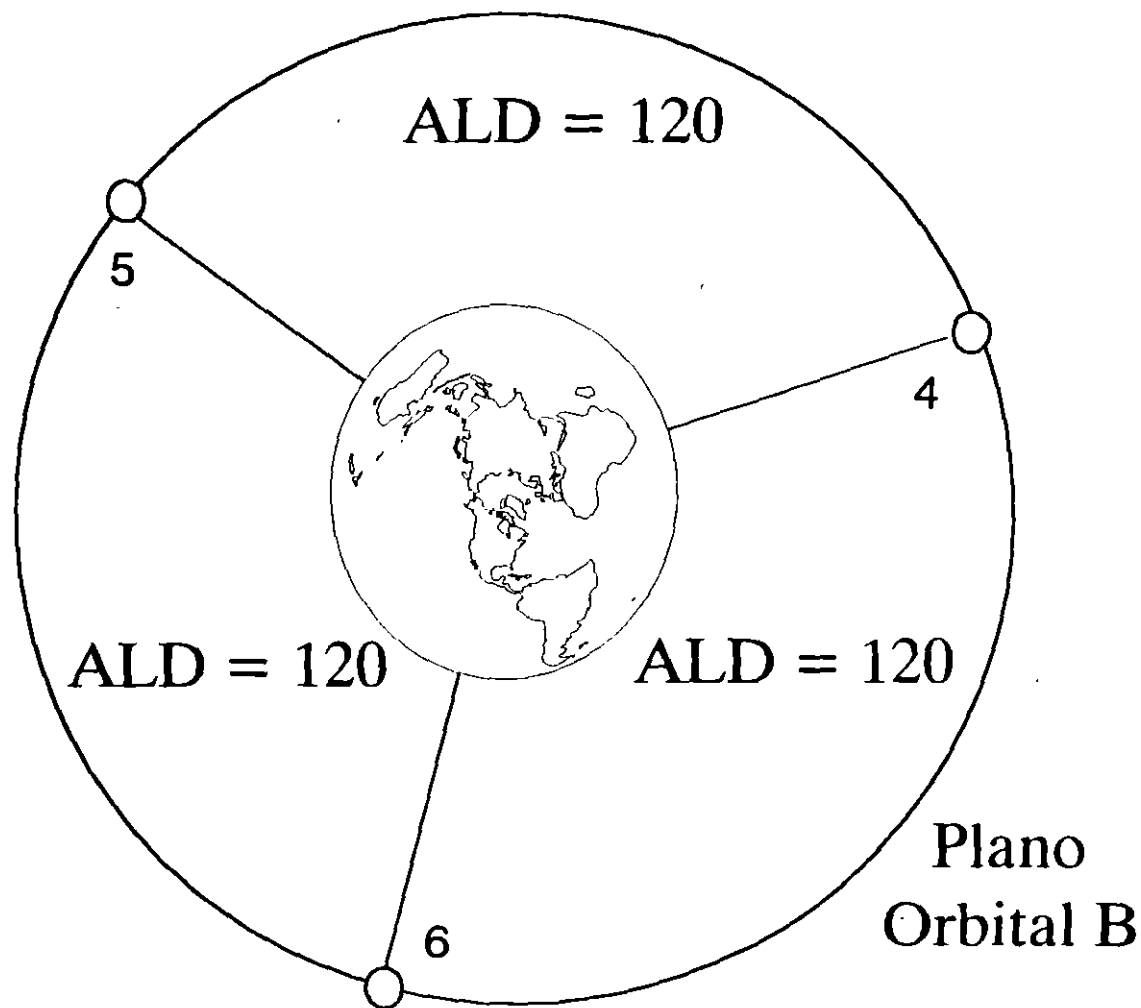
# Inclinación ( $i$ ) de la Orbits GPS



# Separación de los Planos Orbitales GPS



# Diferencia en el Argumento de Latitud (ALD)



Geometrix - Geodetic and Hydrographic Research Inc.



# Estaciones de Control



Geometrix -Geodetic and Hydrographic Research Inc.

---

# Funciones del Segmento de Control

- **Monitoreo:** Rastreo de órbitas y predicción
- **Procesado:** Cálculo de las efemérides predichas y las correcciones de tiempo
- **Envío de Datos:** Mandar nuevas efemérides, correcciones de tiempo, mensaje de navegación y datos de comandos de telemetría
- **Control:** Correcciones orbitales a los satélites

# Segmento de Control

Estación	Monitoreo	Procesado	Envío de Datos	Control Satelital
Colorado Springs	X	X		X
I. Asunción	X		X	
Diego García	X		X	
Kwajalein	X		X	
Hawaii	X			

---

# **Segmento de Usuarios - Hardware**

Una unidad de medición GPS consiste de las siguientes componentes:

- Antena y preamplificador
- Componentes de Radio Frecuencia
- Unidad de Control and Pantalla
- Unidad de Almacenaje
- Batería

# Receptores GPS

Un receptor geodésico GPS puede recibir las señales de los satélites dependiendo de su número y arreglo de canales de las siguientes maneras:

- En paralelo con múltiples canales
- En forma secuencial rápida  $> 20$  ms y lenta  $> 1$  min
- En multiplexación  $< 20$  ms

20 ms es el período de un bit en el mensaje satelital

# Antenas de Receptores GPS

La función de la antena de un receptor GPS es la de transformar las ondas electromagnéticas recibidas de los satélites en corriente eléctrica. Existen actualmente cuatro tipos de antenas usadas por receptores geodésicos GPS :

- Monopolar (1 frecuencia)
- Hélicoidales Cuadrifilares (1 frecuencia)
- Microcinta "microstrip" (2 frecuencias)
- Helicoidales en Espiral (2 frecuencias)

# Desempeño de Antenas GPS

Existen varias medidas para evaluar la calidad de la antena de un receptor GPS:

- Cobertura hemisférica sin bloqueo en el zenit, particularmente en aplicaciones marinas.
- Interferencia mínima de trayectoria múltiple "multipath" , particularmente en aplicaciones terrestres.
- Alta relación de señal a ruido
- Simetría azimutal de ganancia y un identificable y precisamente localizable centro de fase

# Segmento de Usuarios - Software

El software instalado en los receptores esta diseñado para procesar la señal en las siguientes maneras:

- Correlación del código: C/A ó P en L1 ó L1 y L2
- Fase del código: en L1 ó L1 y L2
- Cuadratura de la señal de la onda portadora: en L1 ó L1 y L2



# Estructura de la Señal GPS

Frecuencia Fundamental del Reloj Atómico:  $f = 10.23 \text{ MHz}$

Frecuencias de la onda portadora:

$$L1 = 154 \cdot f = 1575.42 \text{ MHz} \quad L2 = 120 \cdot f = 1227.6 \text{ MHz}$$

Ruidos Pseudo Aleatorios (PRN) modulados:

Código C/A:

Secuencia de 1 ms emitida a  $f/10 = 1.023 \text{ MHz}$  (293.0 m) (L1)

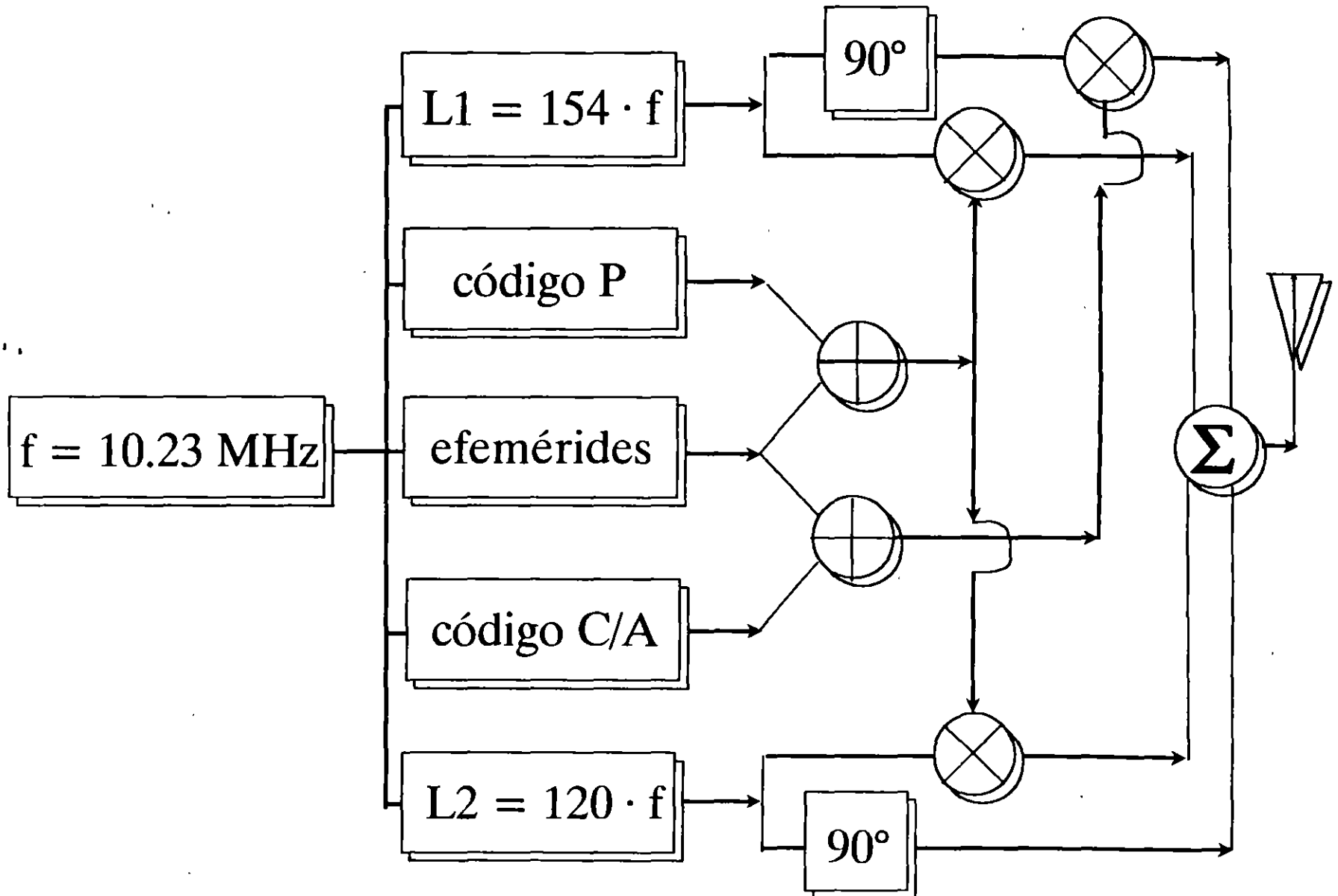
Código P:

Secuencia de 267 días emitida a  $f = 10.23 \text{ MHz}$  (29.3 m)(L1,L2)

El Mensaje de Navegación Satelital Transmitido:

Es emitido a 50 Hz y modulado sobre (L1,L2) contiene el status satelital y las efemérides, y es decifrado por el receptor para obtener posicionamiento en tiempo-real

# Estructura de la Señal GPS



Geometrix - Geodetic and Hydrographic Research Inc.

# El Código Y

El Código Y es el resultado de encriptar ó criptografiar el código P tal que se hace imposible extraer su información de L1 y L2

$$\text{Código } Y = \text{Código } P + \text{Encriptación}$$

Esta encriptación es denominada "Anti-Spoofing" (AS) y es una medida empleada para proteger la integridad del código P de señales de interferencia posiblemente generadas por fuerzas hostiles en el caso de un conflicto bélico. Se espera ser activada 100% cuando el sistema sea operacional quizás a finales de 1993.

Encriptación no es la única razón por la que pueda no estar disponible el código P, también puede ser desactivado del sistema.

# Medidas GPS

Señal:	Pulso	Onda Continua
Medida:	Pseudorango	Fase de la onda portadora
Ventaja:	Rango sin ambigüedad	Información continua
Deventaja:	Información discontinua	Ambigüedad de ciclos

# Medida de Pseudorangos

Un pseudorango  $R$  es la distancia obtenida como resultado del producto de la velocidad de la luz  $c$  y el tiempo de retraso requerido para alinear una réplica del código generado en el receptor con el código recibido del satélite, i.e.,

$$R = c ( T_r - T_s )$$

Debido a que el retraso no es exactamente igual a la diferencia de tiempos de emisión y recepción, se introduce un sesgo de tiempo. La presencia de este sesgo es la razón por la que se le denomina pseudorango y no simplemente rango.

---

# Medidas de la Fase de Onda Portadora

La fase de la onda portadora ó heterodina es la fase de la señal que queda cuando la onda portadora defasada por el efecto Doppler se diferencia de la frecuencia constante generada en el receptor.

El número inicial entero de ciclos de la onda portadora desconocido entre el satélite y el receptor, y la posibilidad de pérdida de ciclos debido a pérdida de la señal, hacen difícil el uso de medidas de la onda portadora en aplicaciones cinemáticas.

# Errores GPS

Segmento	Fuente de Error
Espacial	Reloj Perturbaciones Satelitales
Control	Efemérides
Usuario	Retraso Troposférico Retraso Ionosférico Multiple Trayectoria Errores Instrumentales

# Retrasos Troposférico e Ionosférico

Los dos retrasos que afectan todas las medidas GPS están dados por efectos que ocurren en el medio en el que se propagan las ondas electromagnéticas:.

- El retraso troposférico:

Es una función de la temperatura, presión, humedad relativa y la altura, y alcanza a tener un efecto de 2.0 m en una dirección zenital a 25 m a una altura de 5°

- El retraso ionosférico:

Es una función del Contenido Total de Electrones (CTE), y alcanza a tener un efecto de 15.0 m en una dirección zenital. La ionósfera es un medio dispersivo.



# Disponibilidad Selectiva (SA)

SA es un método de degradación de la precisión dirigida a usuarios no autorizados del GPS y fue implementada por el DoD por primera vez el 25 de Marzo de 1990.

El efecto de SA es medidas menos precisas de pseudorangos y de la fase de la onda portadora, i.e., posiciones y tiempo GPS menos precisos.

SA degrada la precisión horizontal de las posiciones en 100 m en el 95% del tiempo y hasta 300 m en el 5% restante.

Sólo usuarios autorizados pueden corregir el efecto de SA usando la información criptografiada en el *mensaje de navegación*. Usuarios no autorizados sólo pueden eliminar este efecto a través de DGPS.

# Implementación de SA

SA se aplica en la práctica por medio de dos procesos.

- El proceso delta:

Es implementado como la introducción de una vibración aleatoria en la frecuencia de los relojes atómicos de los satélites.

- El proceso épsilon:

Es implementado introduciendo errores en las efemérides predichas y transmitidas.

# **Los Satélites GPS: La Próxima Generación**

El bloque IIR consistirá de 20 satélites de repuesto comenzando en 1995.

Mientras que los satélites del bloque IIA necesitan en la actualidad mandar los datos de tiempo y orbitales al segmento de control para su procesado, los satélites del bloque IIR llevarán a cabo el análisis de estos datos en el espacio a través de un sistema de comunicación y procesado inter-satelital.

Esta nueva generación de satélites no redituará en mejores precisiones para aplicaciones estáticas post-procesadas, sin embargo, aplicaciones cinemáticas se beneficiarán de datos orbitales más precisos y actualizados. El segmento de usuarios no necesitará implementar ninguna modificación.

# Comparación de los Bloques IIA y IIR

	IIA	IIR
Peso	3675 lbs	4480 lbs
Vida Media	7.5 años	10 años
Costo por Satélite	\$48US millones	\$28US millones
Fabricante	Rockwell Int.	GE Astro

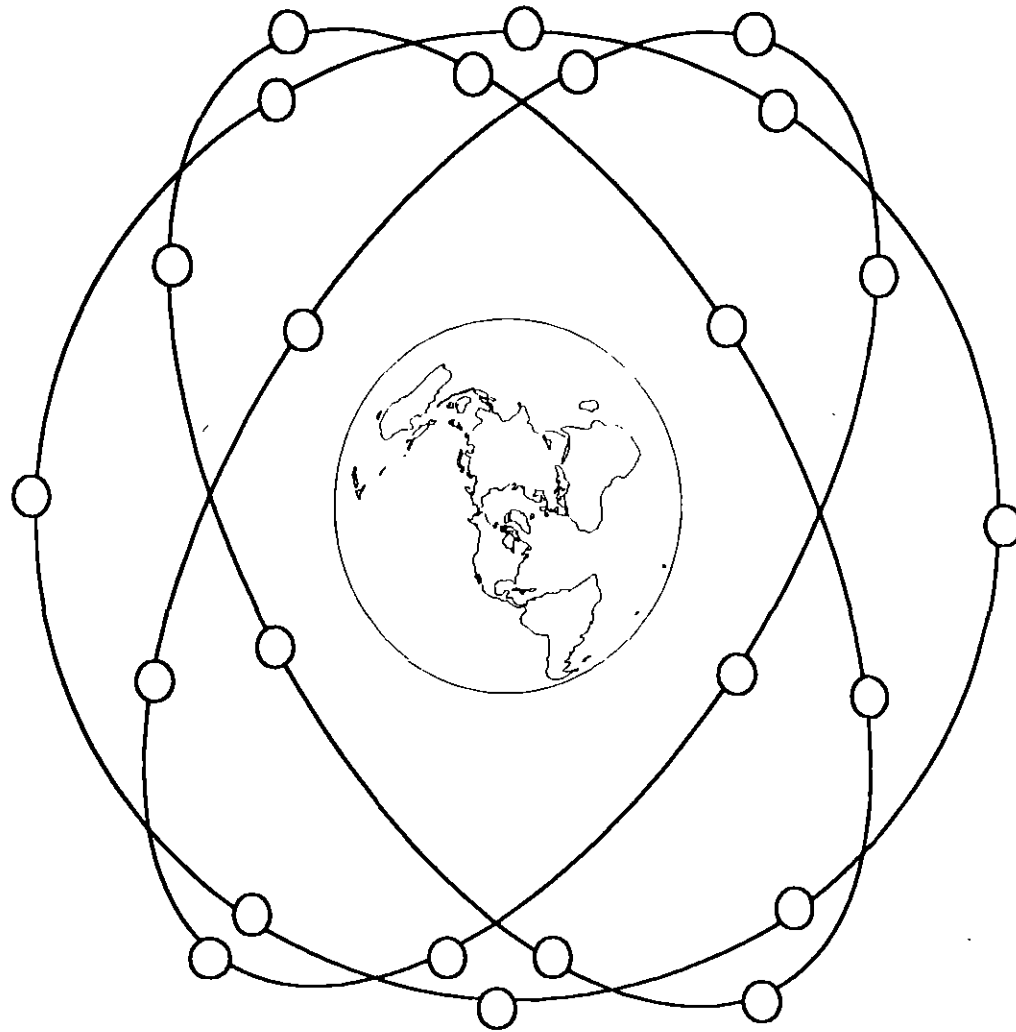
# Segmento Espacial de GLONASS

El despliegue total del segmento espacial está proyectado para finales de 1995:

- 21 satélites
- 3 satélites de repuesto en órbita
- Los satélites están ubicados en órbitas circulares a una altura de 19,000 Km con un período de 11 horas y 15 minutos
- 3 planos orbitales con una inclinación de  $64.8^\circ$

Geometrix - Geodetic and Hydrographic Research Inc.

# Constelación Satelital GLONASS



Geometrix - Geodetic and Hydrographic Research Inc.

# Diferencias entre GPS y GLONASS

Elemento	GPS	GLONASS
Sistema Coordinado	WGS 84	SGS 85
Tiempo Universal Coordinado	UTC USNO	UTC SU
Planos Orbitales	6	3
Inclinación	55°	64.8°
Frecuencia del Código	1.023 MHz	0.511 MHz

# Comparación de Frecuencias

Sistema Satelital	GPS	GLONASS
L1	$154 \cdot f = 1575.42 \text{ MHz}$	$1602.0 + j 0.5625 \text{ MHz}$
L2	$120 \cdot f = 1227.6 \text{ MHz}$	$1246.0 + j 0.4375 \text{ MHz}$

Frecuencia Fundamental GPS  $f = 10.23 \text{ MHz}$



# **La Asociación Internacional de Geodesia y el Servicio Internacional GPS de Geodinámica**

**Dr. Galo Carrera H.**

Geometrix

Geodetic and Hydrographic Research Inc.

Dartmouth, N.S. Canada

# Contenido

- Introducción
- La Asociación Internacional de Geodesia
  - Historia, Estructura y Actividades
- El Servicio Internacional GPS de Geodinámica
  - Origen, Estructura y Objetivos
- Oportunidades para la Geodesia en México
  - Necesidades, Recursos y Oportunidades
- Conclusiones

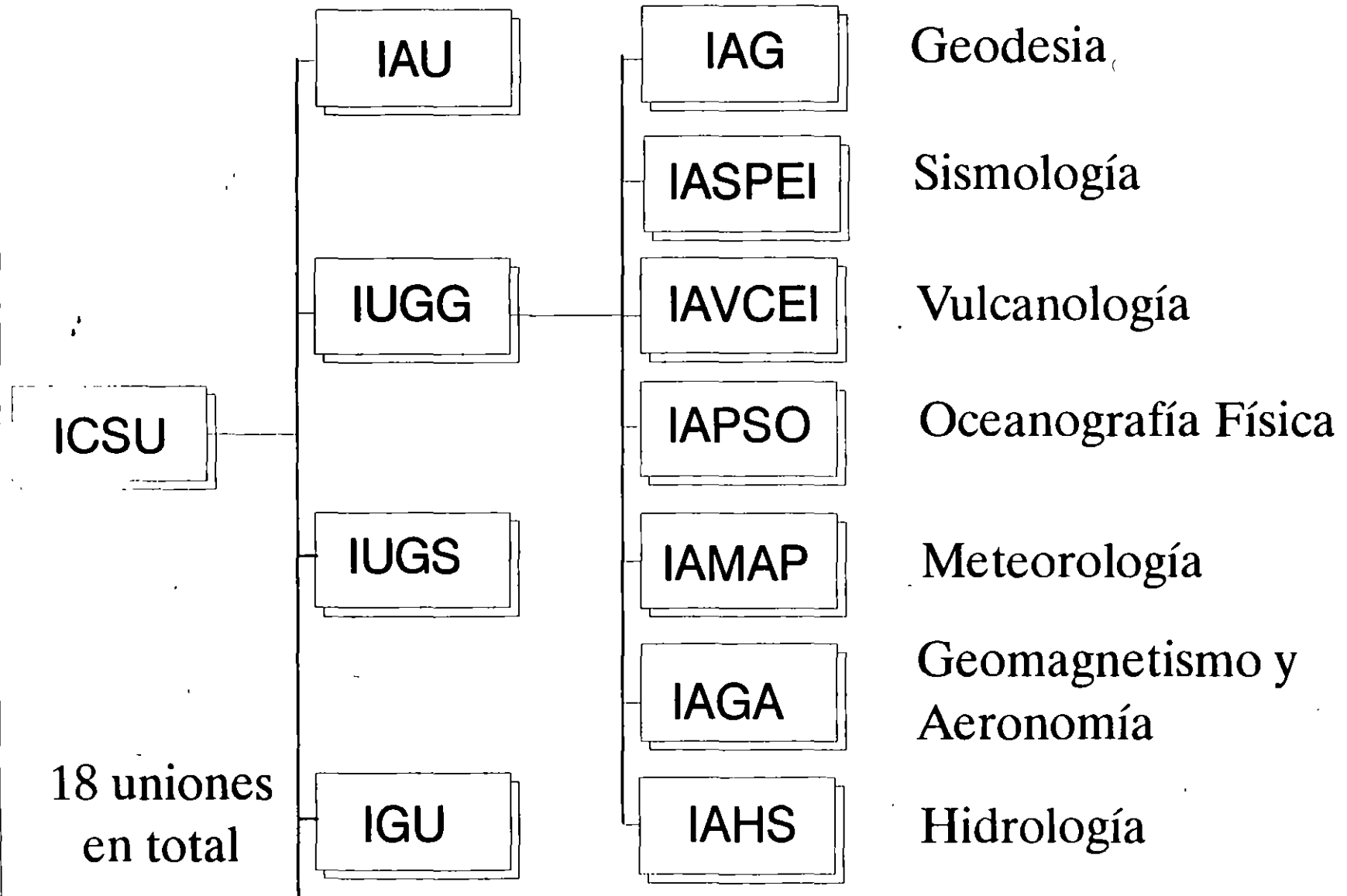
# **La Asociación Internacional de Geodesia**

- **Primera Conferencia Geodésica Internacional, Berlin, 1864: Bureau Central y Comisión Permanente**
- **Décima primera Conferencia Geodésica Internacional, Berlin, 1895: Convención Geodésica Internacional con una Conferencia General**
- **Estatutos de ICSU en 1946: Asociación Internacional de Geodesia**
- **Primera Asamblea General, Oslo, 1948: Bureau Central, Comité Ejecutivo, Consejo y Asamblea General**

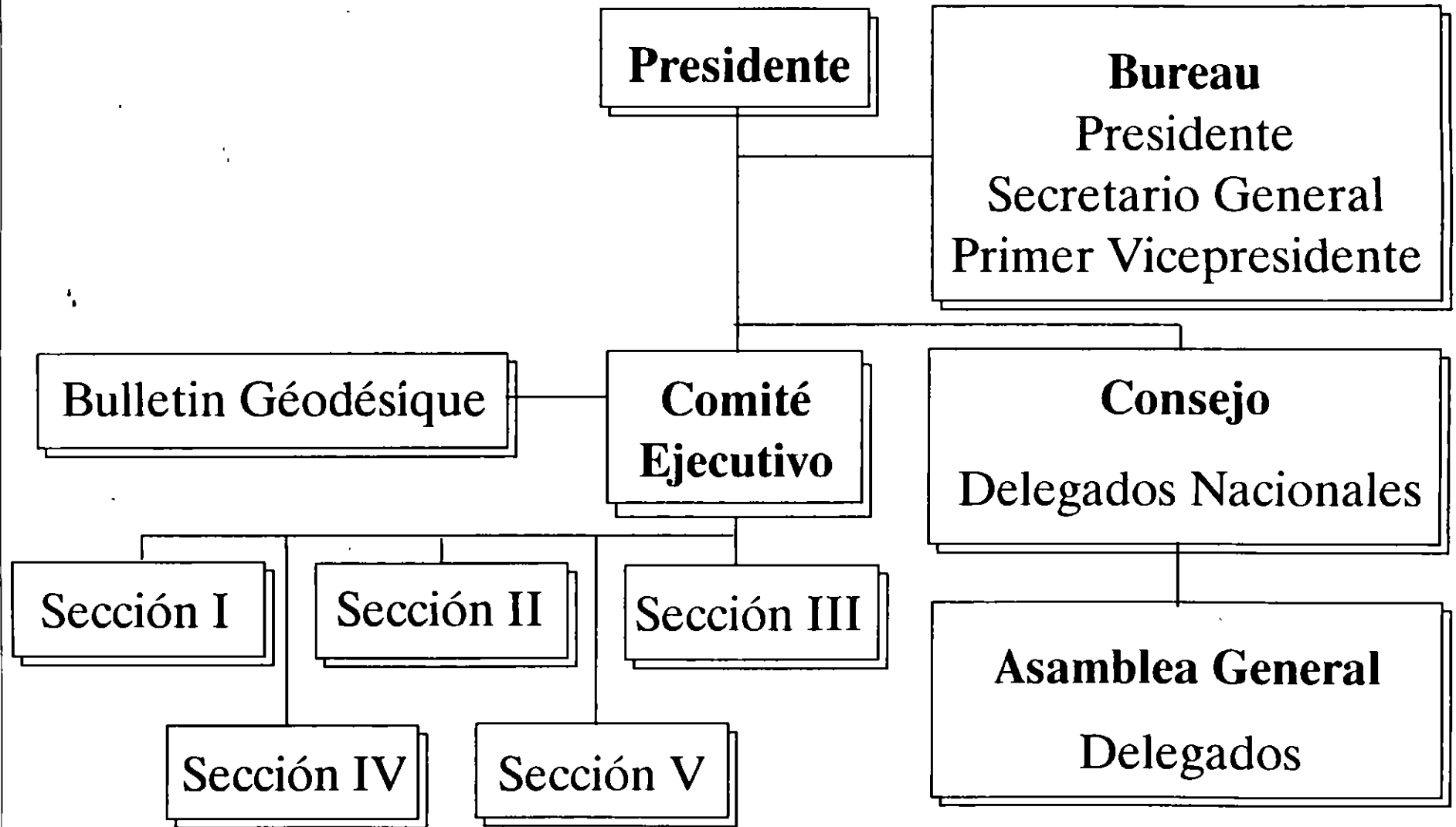
# Objetivos de la IAG

- Promover el estudio de todos los problemas científicos de la geodesia y la investigación de temas de interés a la geodesia.
- Fomentar y coordinar la cooperación en este campo, y promover actividades geodésicas en países en vías de desarrollo.
- Crear los foros, a nivel internacional, para la discusión de los resultados de las investigaciones y trabajos geodésicos.

# Estructura de las Asociaciones Científicas



# Estructura de la IAG



# Las Cinco Secciones de la IAG 91-95

Sección	Tema de Trabajo	Comisiones	Comisiones Especiales	Grupos Especiales de Trabajo
I	Posicionamiento	1	2	5
II	Tecnología Espacial Avanzada	1	1	6
III	Determinación del Campo de Gravedad	2		5
IV	Teoría y Metodología General	1		5
V	Geodinámica	2	1	9

# **Origen del Servicio Internacional GPS de Geodinámica (IGS)**

- Sugerencia de R. Neilan, JPL, G. Mader, NGS, y W. Melbourne, JPL, hecha durante la Asamblea General de IAG en Edimburgo, Escocia en 1989.
- Antecedentes
  - CIGNET (Cooperative International GPS Network)
  - FLINN (Fiducial Laboratories for Int. Sciences Network)
  - PGGA (Permanent Geodetic and Geodynamics Array)
- Estructura Organizacional, Campaña Observacional y Propuesta Formal para la XX Asamblea General en Viena, Austria en 1991.
- Campaña 92: 22 de Junio a 22 de Septiembre, 30 estaciones.



# Objetivos del Servicio Internacional GPS de Geodinámica

- La determinación de efemérides satelitales precisas (10X mejores resultados que órbitas predichas)
- El asegurar la integridad del sistema (satélites, órbitas, SA, AS)
- La detección de la actividad ionosférica (pérdida de ciclos ó "cycle slips")
- El cálculo de parámetros de rotación de la Tierra (LOD/UT1, Xp, Yp)

# **Estructura del Servicio Internacional GPS de Geodinámica**

- Bureau Central, JPL NASA (EEUU)
- Red Central 3 institutos
- Centros de Procesado 7 organizaciones
- Centros de la Red 6 organizaciones
- Centros Regionales de  
Procesado de Datos 3 institutos

# Organizaciones Miembros del IGS

- **Red Central** Centro de Vuelo Espacial Goddard (EEUU)  
Instituto Geográfico Nacional (Francia)  
Institución de Oceanografía Scripps (EEUU)
- **Centros de Procesado** Universidad de Berna (Suiza)  
Energía, Minas y Recursos (Canadá)  
Centro Europeo de Operaciones Espaciales (RFA)  
GeoForschunsZentrum (RFA)  
JPL NASA (EEUU)  
Servicio Geodésico Nacional (EEUU)  
Institución de Oceanografía Scripps (EEUU)

# Organizaciones Miembros del IGS

- **Centros de la Red**
  - Energía, Minas y Recursos (Canadá)
  - Centro Europeo de Operaciones Espaciales (RFA)
  - JPL NASA (EEUU)
  - Servicio Geodésico Nacional (EEUU)
  - NORDIC Consortium (Noruega)
  - Institución de Oceanografía Scripps (EEUU)
- **Centros Regionales de Procesado de Datos**
  - Instituto de Investigaciones del Espacio (Austria)
  - Instituto Geográfico (Japón)
  - Institut für Angewandte Geodäsie (RFA)

# 41 Estaciones del IGS - Junio, 1993

McMurdo, Antártica	Maspalomas, España	Kootwijk, Holanda
Hobart, Australia	Fairbanks, EEUU	Matera, Italia
Tidbinbilla, Australia	Goldstone, EEUU	Utsunomiya, Japón
Yaragadee, Australia	Greenbelt, EEUU	Ny Alesund, Noruega
Graz, Austria	Kokee Park, EEUU	Tromsø, Noruega
Fortaleza, Brasil	McDonald, EEUU	Pamote, Polinesia F.
Albert Head, Canadá	New Liberty, EEUU	Wetzell, RFA
Algonquin, Canadá	PGGA (4), EEUU	Herstmonceux, R.U.
Penticton, Canadá	Pie Town, EEUU	Hartebeestoeck, SA
St John's, Canadá	Richmond, EEUU	Zimmerwald, Suiza
Yellowknife, Canadá	Westford, EEUU	Onsala, Suecia
Santiago, Chile	Metsahovi, Finlandia	Taipei, Taiwan
Madrid, España	Kourou, Guayana F.	

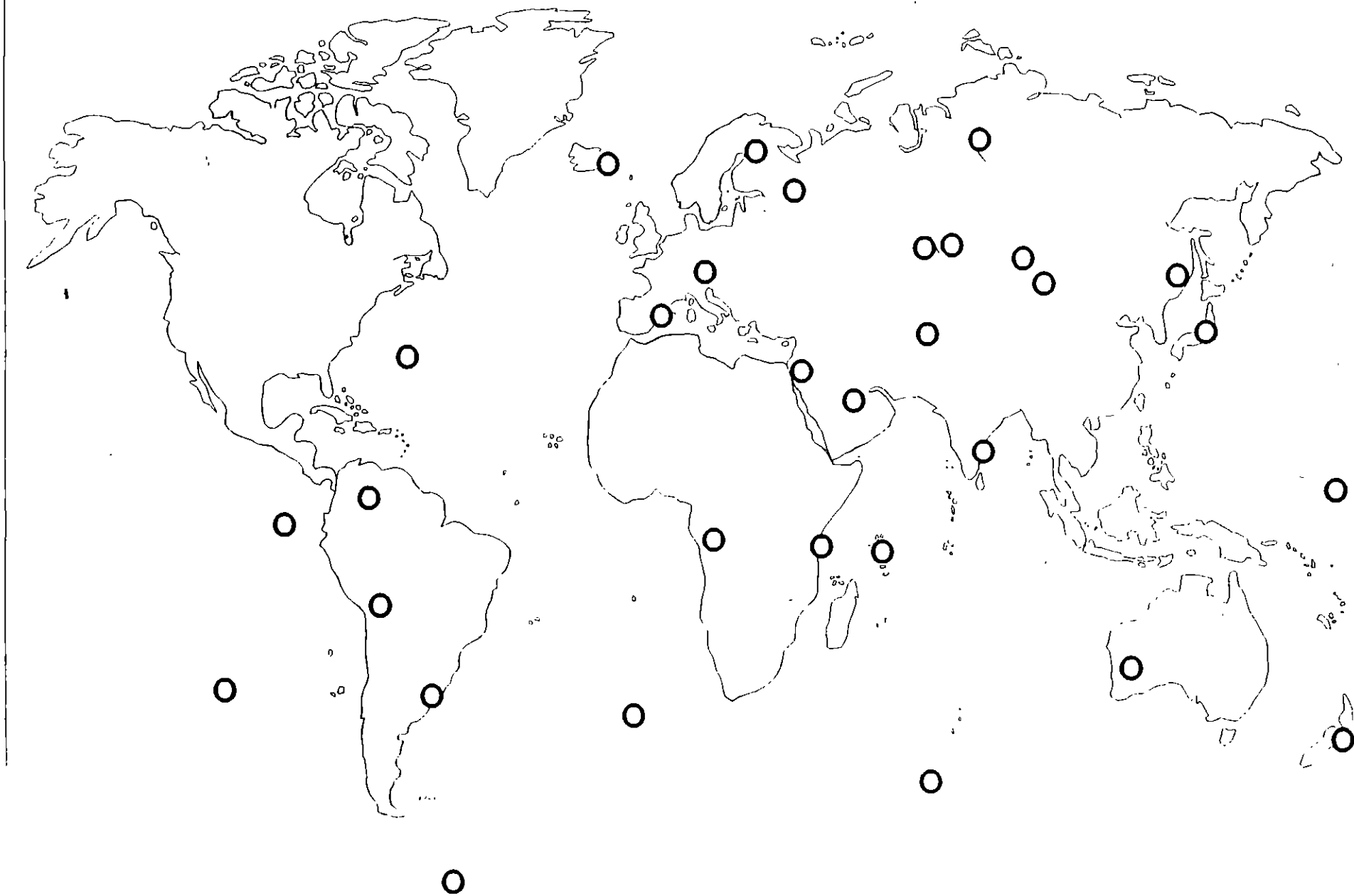
# 41 Estaciones del IGS



# Propuesta de 31 Estaciones Adicionales

O'Higgins, Antártica	Libreville, Gabón	Norilsk/Tiksi, Rusia
Riyadh, Arabia Saudita	Kwajalein	Novosibirsk, Rusia
La Plata, Argentina	Bangalore, India	Petropavlovsk, Rusia
Perth, Australia	Hofn, Islandia	Ussuriisk, Rusia
Bermuda	Tsukuba, Japón	Kiruna, Suecia
TristandaCunha, Brasil	Malindi, Kenia	Badari
Bogotá, Colombia	Ulan Baatar, Mong.	Bar Giyyora
Isla de Pascua, Chile	Wellington, N.Z.	Kitab
Galápagos, Ecuador	Arequipa, Perú	Svetloe
Villafranca, España	Darmstadt, RFA	Seychelles
Kerguelen, Francia		

# 31 Estaciones Adicionales Propuestas





# Recursos de la Geodesia en México

Existe una amplia red de organizaciones en el país con un identificable interés en geodesia:

- Instituciones Académicas: 14 programas de topografía y geodesia + otros programas de ingeniería geofísica
- Instituciones de Investigación: IG-UNAM, CICESE, ...
- Gobierno Federal: INEGI, SDN, SM, SRA, ...
- Descentralizadas: PEMEX, CFE, ...
- Iniciativa Privada: Servicios y Productos

# **Necesidad de Recursos Humanos**

Existe diversos índices que hacen patentes la necesidad de crear los recursos humanos al servicio de la geodesia moderna en México:

- Existen menos de cinco mexicanos con estudios de postgrado especializados exclusivamente en geodesia
- No existe ninguna institución educativa nacional con un programa de postgrado en geodesia
- No existe ninguna institución académica o gubernamental que haga investigación en geodesia
- No existe un sólo artículo científico publicado por alguna institución nacional, académica o gubernamental, en revistas internacionales de geodesia en los últimos 15 años

# Oportunidades de Desarrollo

Existen varias oportunidades para fomentar el desarrollo de la geodesia en México:

- Implementación de una red activa avanzada con la colaboración de organizaciones internacionales
- Creación de una organización dedicada a la investigación geodésica
- Creación de un Programa de Postgrado en Geodesia
- Representación de México en IAG e IGS

# Conclusiones

- La IAG es la organización internacional encargada de promover el avance y coordinar las actividades internacionales de la geodesia
- El IGS es un excelente modelo de colaboración científica internacional el cual ya ha tenido un impacto enorme en la geodesia mundial.
- Los organismos internacionales otorgan nuevas oportunidades para fomentar la coordinación de actividades y recursos nacionales
- La enormes ventajas de colaborar con organizaciones geodésicas internacionales son una parte indispensable para promover la geodesia en México

# **Sistemas de Control Activo GPS:**

## **El Caso Canadiense**

**Dr. Galo Carrera H.**

Geometrix

Geodetic and Hydrographic Research Inc.

Dartmouth, N.S. Canadá

# Contenido

- **Introducción**
- **Sistemas de Estaciones de Control Activo**
  - **Orbitas Predichas y Precisas - Aplicaciones**
- **El Sistema de Control Activo Canadiense**
  - **Objetivos, Configuración y Productos**
- **Oportunidades para un Sistema Activo en México**
  - **Recursos y Necesidades**
- **Conclusiones**

# Sistemas de Estaciones Activas

Receptor de doble frecuencia, líneas de comunicación, control externo de tiempo, estación meteorológica, y pre-procesado de datos

Receptor de doble frecuencia, líneas de comunicación, control externo de tiempo, y estación meteorológica

Receptor de doble frecuencia, líneas de comunicación, y control externo de tiempo

Receptor de doble frecuencia y líneas de comunicación

Receptor de doble frecuencia

Receptor de una frecuencia

# Efemérides Predichas y Precisas

- Las efemérides predichas son la información orbital, i.e., posición y variación en la posición del satélite, calculadas en base a observaciones pasadas y extrapoladas a una época de referencia futura.
- Las efemérides precisas son la información orbital estimada a partir de las observaciones hechas por redes globales de estaciones rastreadoras como CIGNET y ahora IGS.

Las efemérides empleadas en el "Precise Positioning Service" (PPS) con código P y el "Standard Positioning Service" (SPS) con código C/A (Coarse/Acquisition) son predichas y transmitidas junto con el almanaque del segmento de control al segmento espacial.



# El Almanaque

ID	Número PRN del satélite
HEALTH	Status de funcionamiento de los satélites
WEEK	Semana GPS Actual
$t_a$	Epoca de referencia en segs. de la semana actual
$a^{1/2}$	Raíz cuadrada del semi-eje mayor
$e$	Excentricidad de la órbita
$M_0$	Anomalía media en la época de referencia
$\omega$	Argumento del perigeo
$\delta i$	Defasamiento de la inclinación nominal de 55°
$l_0$	Longitud del nodo en $t_a$
$\delta\Omega / \delta t$	Variación en la ascensión recta del nodo
$a_0$	Sesgo en la fase del reloj
$a_1$	Sesgo en la frecuencia del reloj

# Efemérides Predichas

AODE	Edad de los datos de efemérides
$t_e$	Epoca de referencia
$a^{1/2}, e, M_o$ $\omega_o, i_o, l_o$	Parámetros Keplerianos en $t_e$
$\Delta n$	Diferencia de movimiento medio
$\delta i / \delta t$	Variación del ángulo de inclinación
$\delta \Omega / \delta t$	Variación de la ascensión recta del nodo
$C_{uc}, C_{us}$	Coeficientes de corrección (argumento del perigeo)
$C_{rc}, C_{rs}$	Coeficientes de corrección (distancia geocéntrica)
$C_{ic}, C_{is}$	Coeficientes de corrección (inclinación)

# La Posición Predicha del Satélite

Aparte de los valores del semi-eje mayor  $a$  y la excentricidad  $e$  de la órbita, la siguiente información se deriva de los datos mandados del segmento de control al segmento espacial para determinar la posición del satélite durante la época de medición:

$$M = M_o + ( (\mu / a^3)^{1/2} + \Delta n ) ( t - t_e )$$

$$l = l_o + ( \delta\Omega / \delta t ) ( t - t_e ) - \omega_E ( t - t_o )$$

$$\omega = \omega_o + C_{uc} \cos( 2u ) + C_{us} \sin( 2u )$$

$$r = r_o + C_{rc} \cos( 2u ) + C_{rs} \sin( 2u )$$

$$i = i_o + C_{ic} \cos( 2u ) + C_{is} \sin( 2u ) + i ( t - t_e )$$

# Aplicaciones de Sistemas de Control GPS

- Redes de estaciones activas con órbitas predichas:
  - Post-procesado de levantamientos diferenciales estáticos o cinemáticos
  - Difusión de correcciones de pseudorangos en tiempo real para la navegación aérea, marina y terrestre
- Redes de estaciones activas con órbitas precisas:
  - Post-procesado de levantamientos puntuales o diferenciales de alta precisión (errores menores 10X)
  - Procesado en cerca de tiempo real de líneas base para aplicaciones en geodinámica.

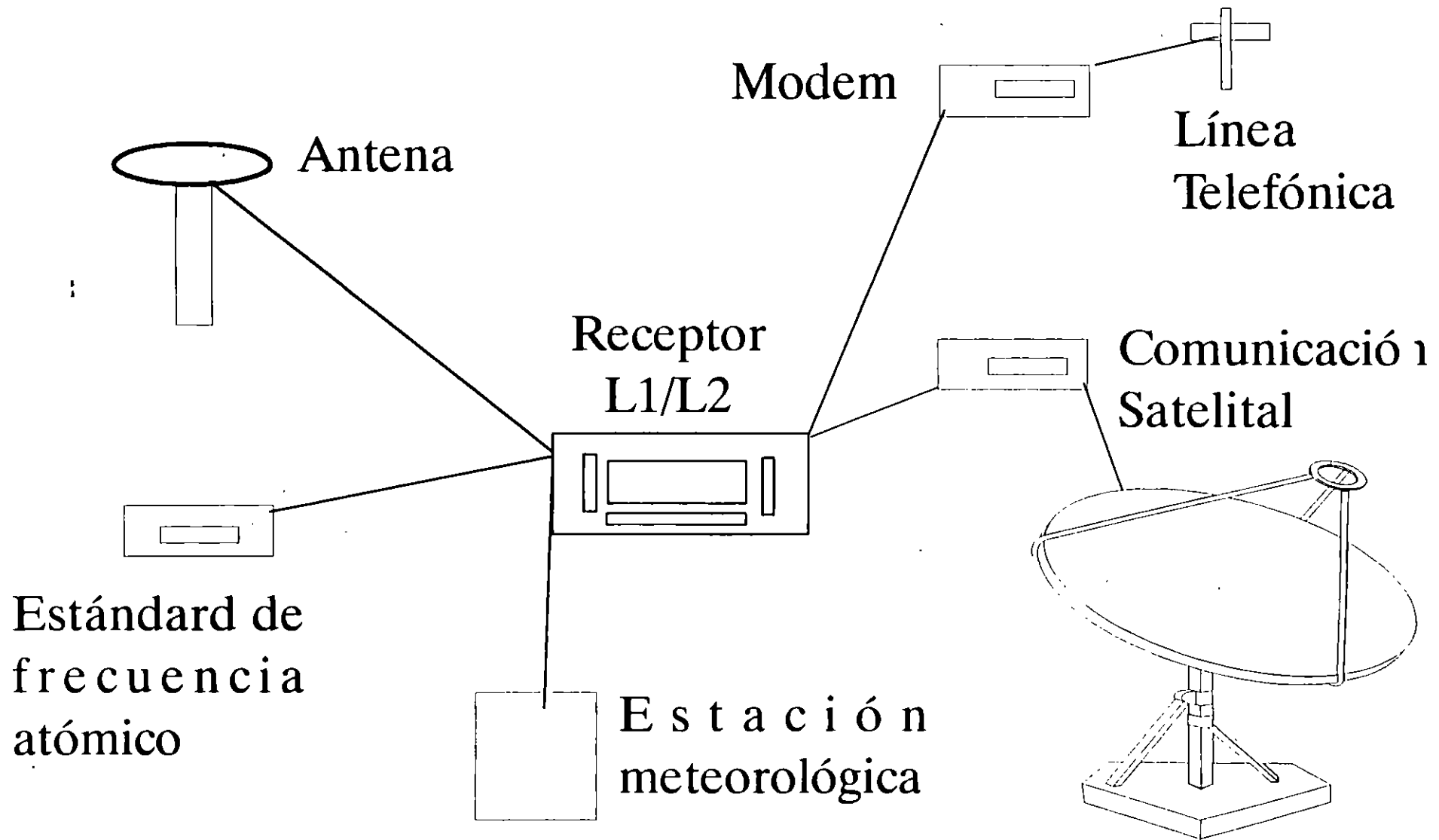
# **Objetivos del Sistema de Control Activo Canadiense**

- Servir como sitios de control y calibración para usuarios del GPS
- Calcular efemérides precisas aunando sus datos a los de otras estaciones en redes internacionales
- Monitorear y verificar la integridad y desempeño del GPS analizando datos de rastreo continuos
- Evaluar y analizar correcciones diferenciales GPS

# Características de las Observaciones

- Rastreo continuo de todos los satélites a la vista
- Medidas de Código y onda portadora en L1/L2
- Intervalo de muestreo de 30 segundos
- Datos enviados electrónicamente a Ottawa cada 4 horas
- Todas las estaciones están automatizadas y son operadas a control remoto.

# Configuración de las Estaciones



# 6 Estaciones Canadienses + 12 Globales





# Equipo Instalado

Estación	Receptor	Std. de Frecuencia	Est. Met.	Comunicación
Algonquin	Rogue SNR-8	Maser	Sí	PAD-VSAT
Albert Head	Rogue SNR-8C	Cesio	No	Modem
Churchill	Rogue SNR-8C	Rubidio	Sí	PAD-VSAT
Holberg	Rogue SNR-8C	Rubidio	No	Modem
Penticton	Rogue SNR-8	Rubidio	No	Modem
St John's	Rogue SNR-8C	Rubidio	No	Modem
Yellowknife	Rogue SNR-8C	Rubidio	Sí	PAD-VSAT

# Proceso Diario de Validación

- Opera en cada estación
- Monitorea la capacidad de rastreo y la precisión del reloj del receptor
- Reporta la activación de "anti-spoofing" (código Y)
- Lleva a cabo una primera detección de pérdidas de ciclo
- Estima efectos de múltiples trayectorias "multipath" y niveles de actividad ionosférica
- Calcula correcciones a pseudorangos
- Determina la calidad de las efemérides predichas y los niveles de Disponibilidad Selectiva (SA)
- Reporta el desempeño de GPS

# Procesado de Datos Diario

- Opera en Ottawa y procesa datos de los receptores Rogue de 6 estaciones canadienses y 12 globales
- Genera los siguientes productos diariamente:
  - efemérides precisas para las 24 horas del período en el formato internacional SP3
  - efemérides predichas para las próximas 24 horas
  - parámetros de orientación de la Tierra  $X_p, Y_p, LOD/UT$
  - coordenadas de las estaciones en ITRF
- La precisión de las órbitas es superior a los 0.5 m ( las órbitas predichas "broadcast" y usadas por GPS tienen una precisión de 5 a 20 m )

# Ventajas del Uso de Orbitas Precisas

- Determinaciones de líneas bases con un error 0.1 ppm superiores a errores del orden de 5 ppm obtenidos con efemérides predichas y usadas por el Sistema de Posicionamiento Global
- Más fácil detección y corrección de pérdidas de ciclos, así como de la resolución de ambigüedades en la fase portadora
- Reducción del número de estaciones necesarias para cubrir el vasto territorio canadiense

# Productos Disponibles al Público

Tanto los datos observados de todas las estaciones en formato RINEX (Receiver Independent Exchange) como las efemérides precisas diarias en formato NGS-SP3 (X, Y, Z, y tiempo cada 15 minutos) están al acceso de cualquier organización, compañía privada, o ciudadano canadiense a través de dos medios:

- A través de INTERNET usando una cuenta anónima y el protocolo FTP (file transfer protocol) de UNIX
- A través de 3 ½ " diskettes de alta densidad (1.44 Mb) con formato MS DOS

# Recursos Nacionales

México cuenta con recursos económicos y humanos provenientes de múltiples organizaciones que al combinarse pueden llevar a construir una infraestructura de posicionamiento de carácter internacional:

- Una red activa de 14 estaciones GPS (DGG-INEGI)
- Un número considerable y creciente de receptores GPS (310 DCC-INEGI + otros de instituciones educativas, gubernamentales y privadas)
- Un número considerable de organizaciones con un creciente interés en adquirir tecnología GPS (UNAM, IPN, PEMEX, CFE, SDN, Marina)

# Necesidad de un Sistema Activo

Un sistema activo al servicio de todos los mexicanos con los siguientes objetivos:

- Observación de datos para la determinación de posicionamiento diferencial cubriendo la totalidad del territorio nacional incluyendo la zona económica exclusiva
- Determinación de efemérides precisas para el eficiente posicionamiento de alta calidad para satisfacer múltiples propósitos, e.g., geodinámica, ingeniería y geodesia
- Transmisión en tiempo real de las correcciones a los pseudorangos en apoyo de la navegación aérea, marina y terrestre

# Conclusiones

- Los sistemas activos representan una nueva era en geodesia
- Principales contribuciones: precisión y eficiencia
- El caso canadiense es un modelo eficaz en evolución
- Necesidad de crear un sistema nacional de control activo
- Necesidad de fomentar la formación de recursos humanos
- Necesidad de coordinar actividades y recursos nacionales
- Necesidad de colaborar con organizaciones internacionales



# **Métodos de Levantamiento Geodésico y Procesado de Datos GPS**

**Dr. Galo Carrera H.**

Geometrix

Geodetic and Hydrographic Research Inc.

Dartmouth, N.S. Canada

# Contenido

- Introducción
- Criterio Geométrico
  - Levantamientos Puntual y Diferencial
- Criterio Temporal:
  - Estático, Cinemático e Híbridos
- Clasificación de Observaciones
- Programas Comerciales y Especializados
- Conclusiones

# Criterios Geométricos de Posicionamiento

De acuerdo a su configuración geométrica el posicionamiento geodésico puede clasificarse como puntual ó diferencial:

- El posicionamiento puntual se caracteriza por la determinación de una posición (x, y, z) con respecto a un sistema de referencia geodésico definido.
- El posicionamiento diferencial se define como la determinación de diferencias de coordenadas (dx, dy, dz) de un punto con respecto a otro punto.

# **Criterios Temporales de Posicionamiento**

De acuerdo a su características temporales el posicionamiento geodésico puede clasificarse como estático ó cinemático:

- El posicionamiento estático se caracteriza por la determinación de las coordenadas de un punto estacionario, e.g., un monumento geodésico.
- El posicionamiento cinemático está definido como la determinación de las coordenadas de un punto en movimiento y es el nombre genérico dado en geodesia a la navegación aérea, marina y terrestre.

# Modos de Posicionamiento

Posicionamiento	Estático	Cinemático
Puntual	Geo-referencia	Navegación de Baja Precisión
Diferencial	Geodinámica y Geodesia	Navegación de Alta Precisión

# Métodos Híbridos

Existen también otras variantes de posicionamiento que se pueden clasificar en función de su metodología de observación:

- **Semi-Cinemático:** Método en el que consecutivamente se mueve y detiene a un receptor en áreas de interés particular y es particularmente útil con inicialización cinemática o *al vuelo*
- **Pseudo-Cinemático:** Método en el que se requiere la re-ocupación de cada punto de interés por lo menos una vez y normalmente se lleva a cabo con inicialización estática
- **Rápido Estático:** Método en el que se lleva a cabo una inicialización estática rápida

# Clasificación de Observaciones

## Posicionamiento Puntual:

- Diferencias simples entre dos épocas: 1 receptor y 2 épocas
- Diferencias simples entre satélites: 1 receptor y 2 satélites

## Posicionamiento Diferencial:

- Diferencias simples entre receptores: 2 receptores y 1 satélite
- Diferencias dobles entre receptores y épocas: 2 receptores, 1 satélite y 2 épocas
- Diferencias dobles entre receptores y satélites: 2 receptores y 2 satélites
- Diferencias triples entre receptores, satélites y épocas: 2 receptores, 2 satélites y 2 épocas

# Ecuaciones de Observaciones GPS

- $p = \rho + c ( dt - dT ) + d_{ion} + d_{trop}$
- $\Phi = \rho + c ( dt - dT ) + \lambda N - d_{ion} + d_{trop}$

$$\rho = | \mathbf{r} - \mathbf{R} |$$

$$c = 299\,792\,458 \text{ m/s}$$

$$dt = t_{\text{satélite}} - t_{\text{GPS}}$$

$$dT = t_{\text{receptor}} - t_{\text{GPS}}$$

$d_{ion}$  ,  $d_{trop}$             retrasos ionosférico y troposférico

$\lambda$                             longitud de onda (L1 19 cm; L2 24 cm)

$N$                             número inicial de ciclos

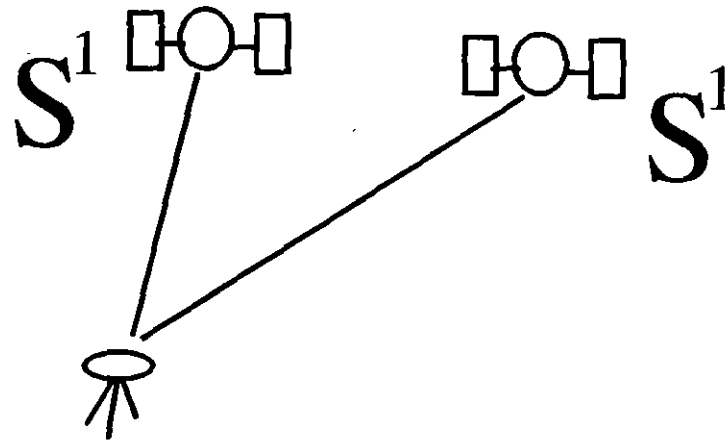


# Diferencias simples entre dos épocas

Ecuaciones de Posicionamiento Puntual:

- $\delta p = \delta \rho + c ( \delta dt - \delta dT ) + \delta d_{ion} + \delta d_{trop}$
- $\delta \Phi = \delta \rho + c ( \delta dt - \delta dT ) + \delta d_{ion} + \delta d_{trop}$

donde  $\delta(\bullet) = (\bullet)_{\text{época 2}} - (\bullet)_{\text{época 1}}$

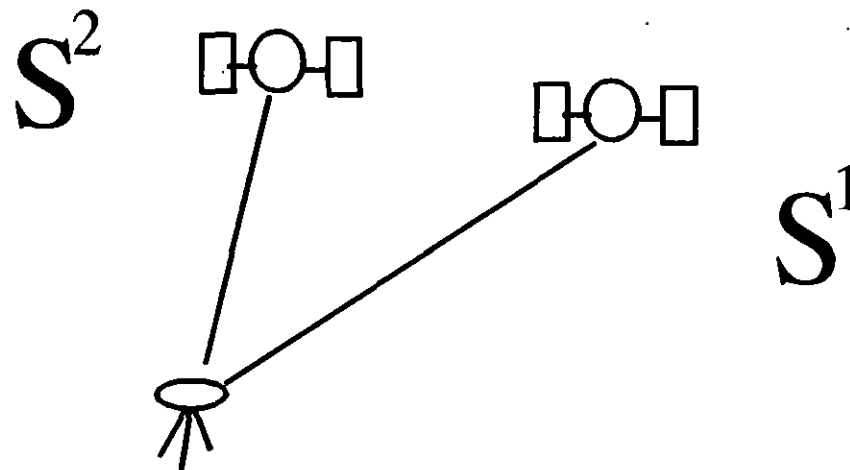


# Diferencias simples entre satélites

Ecuaciones de Posicionamiento Puntual:

- $\nabla p = \nabla \rho - c \nabla dT + \nabla d_{\text{ion}} + \nabla d_{\text{trop}}$
- $\nabla \Phi = \nabla \rho - c \nabla dT + \lambda \nabla N - \nabla d_{\text{ion}} + \nabla d_{\text{trop}}$

donde  $\nabla(\bullet) = (\bullet)_{\text{satélite 2}} - (\bullet)_{\text{satélite 1}}$

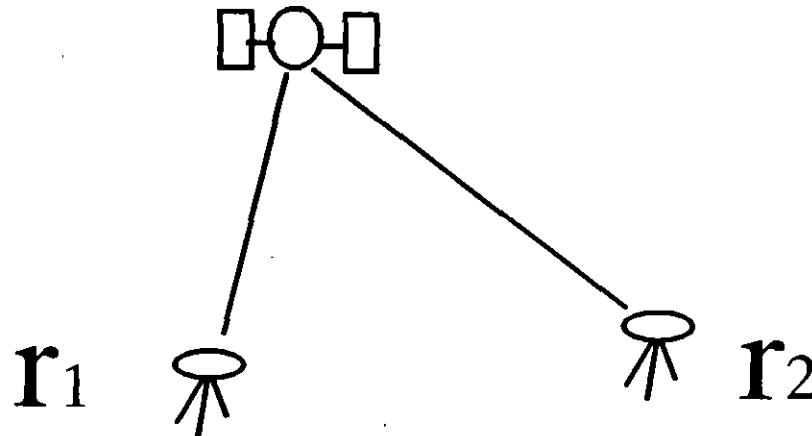


# Diferencias simples entre receptores

Ecuaciones de Posicionamiento Diferencial:

- $\Delta p = \Delta \rho - c \Delta dT + \Delta d_{\text{ion}} + \Delta d_{\text{trop}}$
- $\Delta \Phi = \Delta \rho - c \Delta dT + \lambda \Delta N - \Delta d_{\text{ion}} + \Delta d_{\text{trop}}$

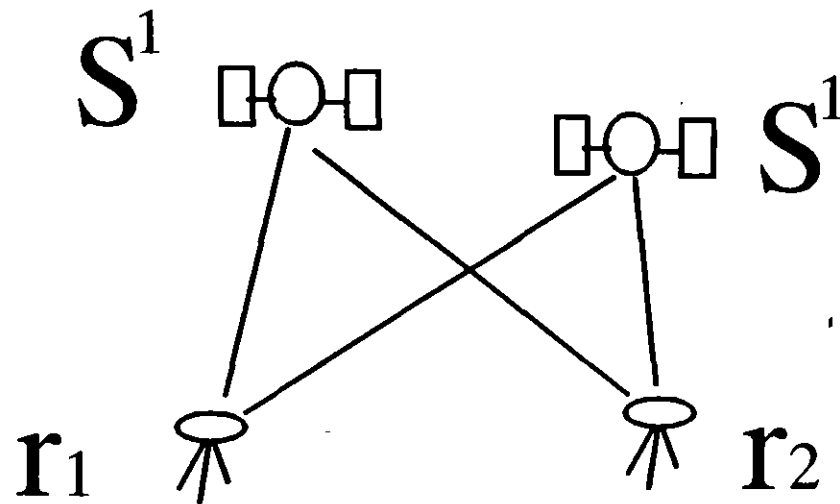
donde  $\Delta(\bullet) = (\bullet)_{\text{receptor 2}} - (\bullet)_{\text{receptor 1}}$



# Diferencias dobles entre receptores y épocas

Ecuaciones de Posicionamiento Diferencial:

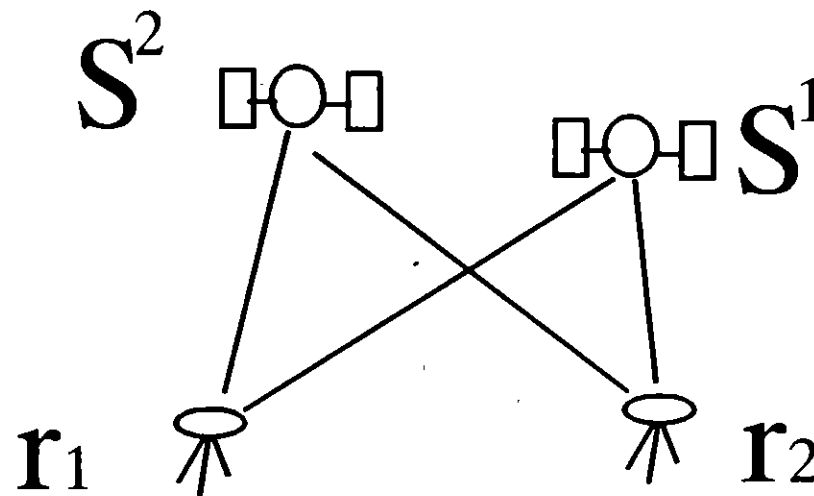
- $\delta\Delta p = \delta\Delta\rho - c \delta\Delta dT + \delta\Delta d_{\text{ion}} + \delta\Delta d_{\text{trop}}$
- $\delta\Delta\Phi = \delta\Delta\rho - c \delta\Delta dT - \delta\Delta d_{\text{ion}} + \delta\Delta d_{\text{trop}}$



# Diferencias dobles entre receptores y satélites

Ecuaciones de Posicionamiento Diferencial:

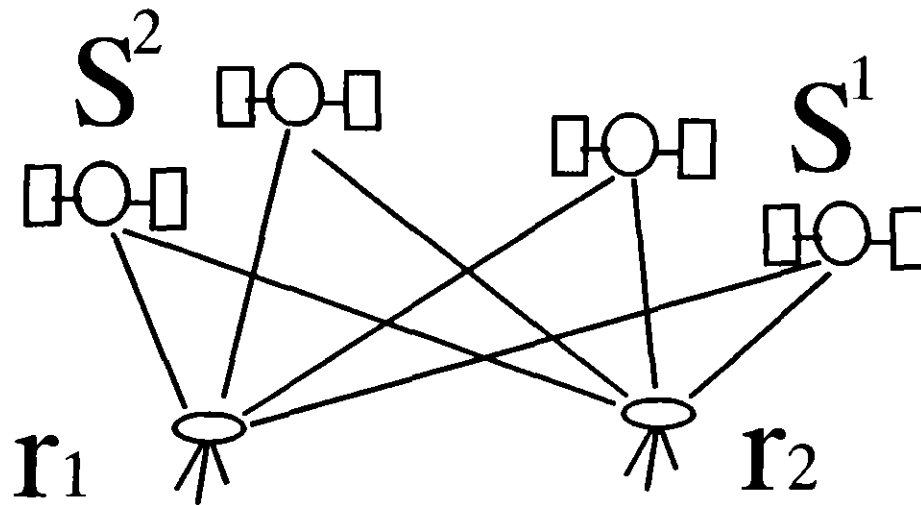
- $\nabla\Delta p = \nabla\Delta\rho + \nabla\Delta d_{\text{ion}} + \nabla\Delta d_{\text{trop}}$
- $\nabla\Delta\Phi = \nabla\Delta\rho + \lambda \nabla\Delta N - \nabla\Delta d_{\text{ion}} + \nabla\Delta d_{\text{trop}}$



# Diferencias triples entre receptores, satélites y épocas

Ecuaciones de Posicionamiento Diferencial:

- $\delta \nabla \Delta p = \delta \nabla \Delta \rho + \delta \nabla \Delta d_{\text{ion}} + \delta \nabla \Delta d_{\text{trop}}$
- $\delta \nabla \Delta \Phi = \delta \nabla \Delta \rho - \delta \nabla \Delta d_{\text{ion}} + \delta \nabla \Delta d_{\text{trop}}$



# Métodos de Observaciones

Método	Receptores	Satélites	Epocas
Diferencias simples entre dos épocas	1	1	2
Diferencias simples entre satélites	1	2	1
Diferencias simples entre receptores	2	1	1
Diferencias dobles entre receptores y épocas	2	1	2
Diferencias dobles entre receptores y satélites	2	2	1
Diferencias triples entre receptores, satélites y épocas	2	2	2

# Ambigüedades en la Fase de la Onda Portadora

La ambigüedad en la fase de la onda portadora o heterodina surge de varias incertidumbres en su medición original. La ambigüedad consiste de tres componentes:

$$\text{Ambigüedad} = \alpha_i - \beta_j - N_{ij}$$

- $\alpha_i$  fracción de la fase inicial en el receptor
- $\beta_j$  fracción de la fase inicial en el satélite
- $N_{ij}$  número entero de sesgo en la medición original



# Pérdida de Ciclos

La pérdida de ciclos es creada por una discontinuidad en la cuenta del número de ciclos en la medición de la fase de la onda portadora. Esta discontinuidad es creada a su vez por una pérdida temporal de la señal de la onda portadora en el receptor. Existen varios métodos para eliminar este problema:

- Fijar las estaciones y editar manualmente los residuos
- Aproximar los datos con una función suave para cada satélite y editar manualmente los datos
- Usar observaciones de diferencias triples entre receptores, satélites y épocas para determinar posiciones e inspeccionar los residuos para buscar discontinuidades.

# Programas Comerciales

Varios programas comerciales para el procesado de datos GPS han sido desarrollados por parte de varios fabricantes de receptores GPS y compañías privadas, por ejemplo:

- GPPS y P-NAV, Ashtec Inc., EEUU
- TRIMVEC, Trimble Inc., EEUU
- SKI, Leica, Suiza
- Otros programas como GpsWin de Sercel, Francia y HPC/HPM de Nortech, Canadá son útiles y fáciles de operar pero no muy sofisticados en sus opciones.
- Microcosm, Van Martin Systems Inc, EEUU (una versión comercial de Geodyn de NASA) probablemente el programa comercial más completo.

Geometrix - Geodetic and Hydrographic Research Inc.

# Programas Especializados

Varios programas especializados en el procesado de alta calidad de datos GPS han sido desarrollados en varias organizaciones académicas y gubernamentales:

- Bernés, Universidad de Berna, Suiza
- GIPSY 2, Jet Propulsion Laboratory, NASA, EEUU
- GAMIT, MIT - Scripps Oceanographic Inst., EEUU
- MSODP1/TEXGAP, University of Texas at Austin
- Otros paquetes tanto norteamericanos como OMNI de NGS, canadienses como DIPOP de UNB y europeos también son de gran utilidad pero no fáciles de operar.

# Conclusiones

- Criterios geométricos: puntual y diferencial
- Criterios temporales: estático, cinemático e híbridos
- Métodos de observaciones: ventajas y desventajas
- Programas especializados: sofisticación y facilidad

# **Estrategias de optimización para el uso más eficiente de la tecnología GPS en apoyo de Procede**

**Dr. Galo Carrera H.**

Geometrix

Geodetic and Hydrographic Research Inc.

Dartmouth, N.S. Canada

# Contenido

- **Introducción**
- **Redes Geodésicas Tridimensionales**
  - Modelos Matemáticos y Criterios de Optimización
- **Observaciones Satelitales**
  - Modelos Matemáticos y Dilución de la Precisión
- **Metodología GPS Actual en Procede**
  - Medición y Procesado: Posibles Alternativas
- **Conclusiones y Recomendaciones**

# La Matriz de Diseño

La matriz de diseño  $A$  relaciona al vector de las observaciones  $l$  con el vector de los parámetros  $x$ , i.e.,  $l = A x$ , y en GPS está dada por

$$A = \begin{bmatrix} -(x' - x) / \Delta R, ' & -(y' - y) / \Delta R, ' & -(z' - z) / \Delta R, ' & C \\ -(x'' - x) / \Delta R, '' & -(y'' - y) / \Delta R, '' & -(z'' - z) / \Delta R, '' & C \\ -(x''' - x) / \Delta R, ''' & -(y''' - y) / \Delta R, ''' & -(z''' - z) / \Delta R, ''' & C \\ -(x'''' - x) / \Delta R, '''' & -(y'''' - y) / \Delta R, '''' & -(z'''' - z) / \Delta R, '''' & C \end{bmatrix}$$

donde  $x' y' z'$   $x'' y'' z''$   $x''' y''' z'''$   $x'''' y'''' z''''$  son las coordenadas de los cuatro satélites; la terna  $x, y, z$  representa las coordenadas del receptor y los valores  $\Delta R, ' \Delta R, '' \Delta R, ''' \Delta R, ''''$  son las cuatro distancias entre los satélites y el receptor.

# Criterios de Optimización

Los problemas de optimización en geodesia están clasificados en cuatro casos:

Diseño	Parámetros Fijos	Parámetros Libres
Orden cero	<b>A P</b>	<b>X Q<sub>x</sub></b>
Primer Orden	<b>P Q<sub>x</sub></b>	<b>A</b>
Segundo Orden	<b>A Q<sub>x</sub></b>	<b>P</b>
Tercer Orden	<b>Q<sub>x</sub></b>	<b>A P</b>

donde **X** es el vector de parámetros, **A** es la matriz de diseño, **P** es la matriz a-priori de las observaciones, **Q<sub>x</sub>** es la matriz de varianza-covarianza de los parámetros estimados.



# Formas de la Dilución de la Precisión

Las varias formas de dilución de la precisión (DOP) están definidas a partir de varias combinaciones lineales de los elementos de la diagonal principal de la matriz de varianza-covarianza de los parámetros estimados  $Q_x$ :

$$\bullet \text{GDOP} = (\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2 + \sigma_r^2 \cdot c^2)^{1/2}$$

$$\bullet \text{PDOP} = (\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + \sigma_z^2)^{1/2}$$

$$\bullet \text{TDOP} = \sigma_r$$

Geoméricamente PDOP es inversamente proporcional al volumen del cuerpo geométrico formado por todos los vectores unitarios dirigidos del receptor a cada satélite y la esfera de radio unitario centrada en el receptor.

## Precisión y Dilución de la Precisión

La precisión  $S$  con la que se determinan las posiciones con observaciones GPS dependen de la configuración geométrica de los satélites al tiempo de la medición y la precisión de las observaciones.

La rigidez de la configuración geométrica satelital está dada por la dilución de la precisión  $DOP$ , y el efecto combinado de todos los errores de medición al que se refiere como Error de Distancia Equivalente del Usuario ( $UERE$ ).

$$s = DOP * UERE$$

$UERE$  es el resultado de la combinación de sesgos en los tiempos de los relojes satelital y del receptor, errores en las órbitas, los sesgos en la fase de la onda portadora y los retrasos ionosféricos y troposféricos, y es transmitido en el mensaje de navegación.

# Metodología de Medición y Procesado

## Medición:

- Medición de la Línea de Control: Mayor Precisión
- Medición Cinemática y Muestreo: Señal y Códigos
- Logística de Campo: La Trayectoria más corta

## Procesado:

- Procesado de Posicionamiento Estático de la Línea de Control con **GPPS** usando **Efemérides Precisas**
- Ajuste de las observaciones estáticas con **GeoLab**
- Procesado de Posicionamiento Cinemático de los puntos de parcela y lindero con **P-Nav**

# Metodología de Medición de Campo

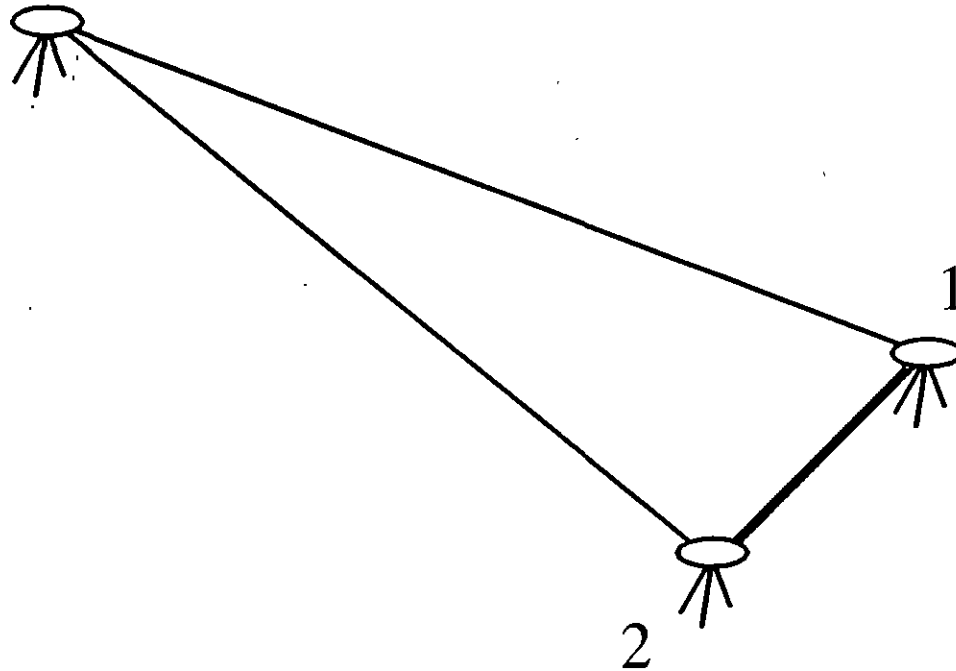
En forma sucinta las operaciones de campo con los receptores GPS está diseñada en Procede para cumplir al menos los siguientes objetivos:

- Posicionamiento diferencial a partir de la estación activa más cercana.
- Monumentación y observación de una línea base en un ejido
- Procesado de datos en un postprocesado en forma estática
- Ajuste de las observaciones

# Posicionamiento de la Línea de Control

## 2 Receptores

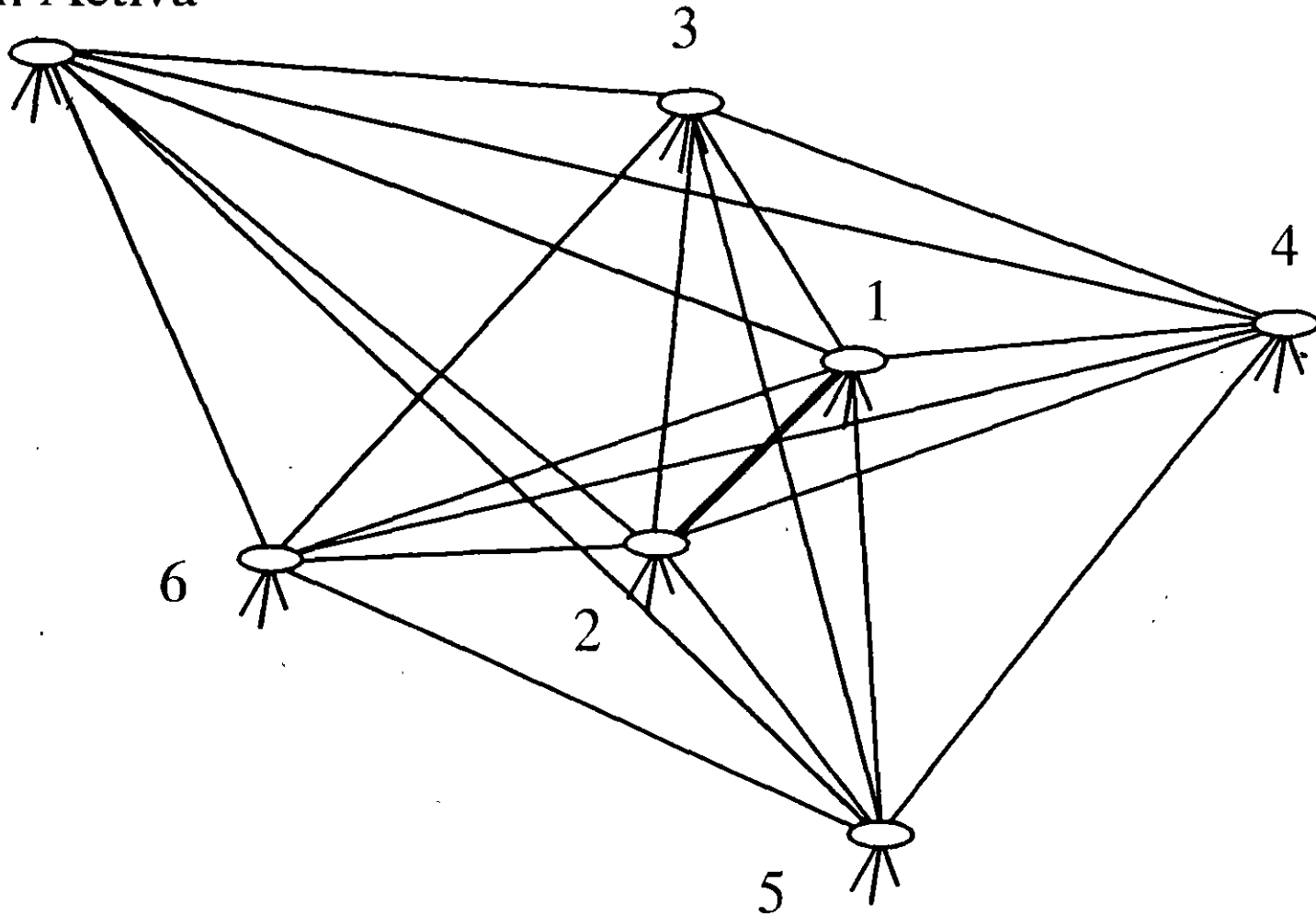
Estación Activa



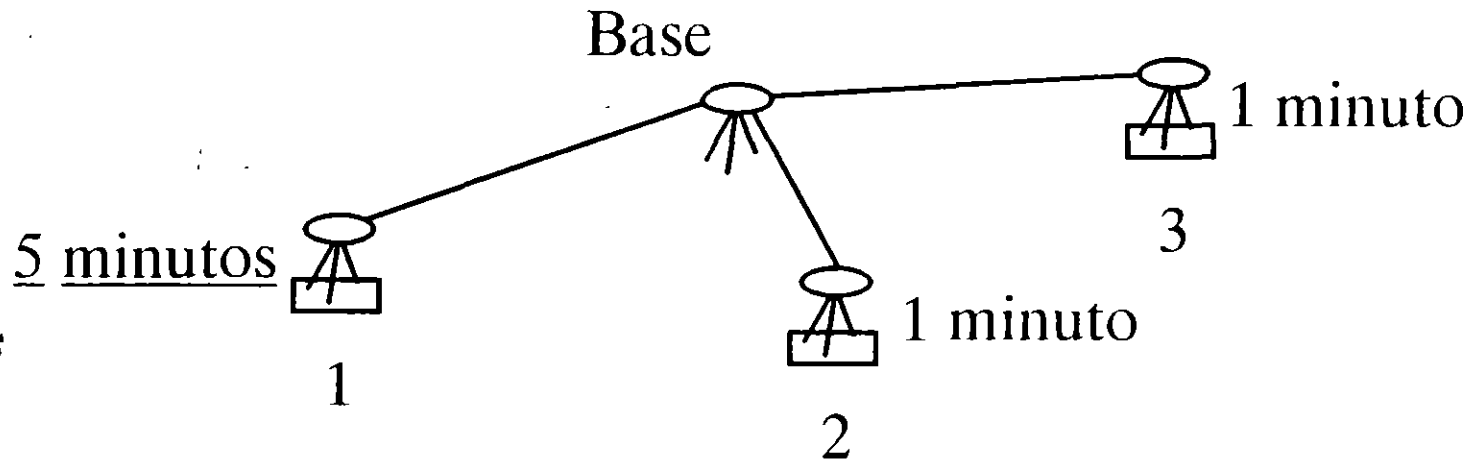
# Posicionamiento de la Línea de Control

## 6 Receptores

Estación Activa



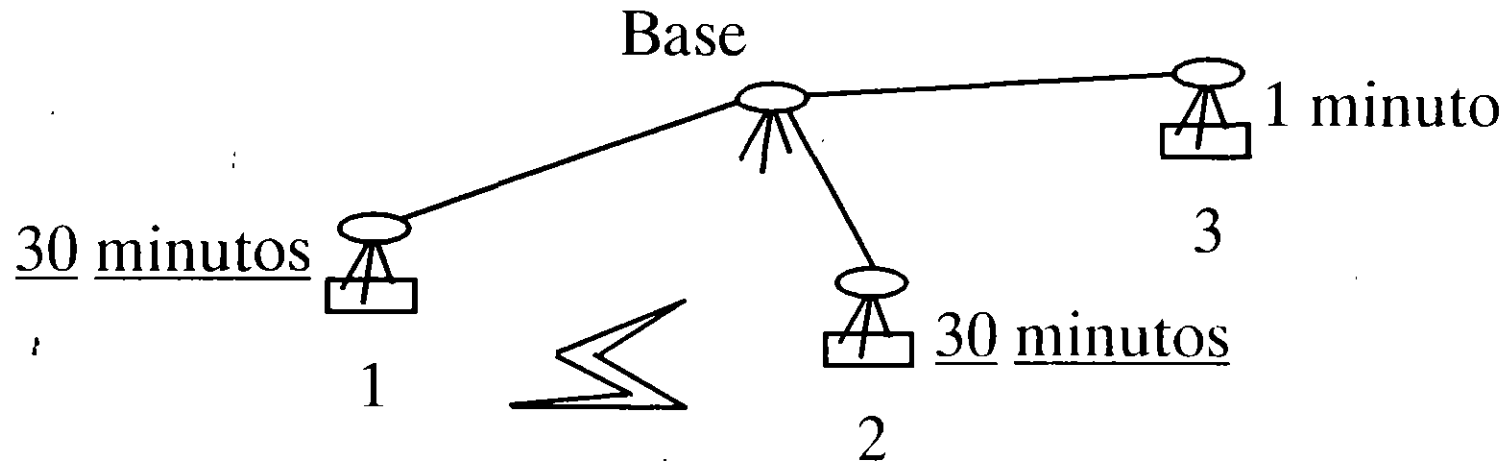
# Inicialización y Muestreo: Código P



Sin pérdida de la señal:

- 5 minutos de inicialización
- 1 minuto por sitio
- 5 segundos de muestreo
- 12 muestras por sitio

# Inicialización y Muestreo: Código C/A

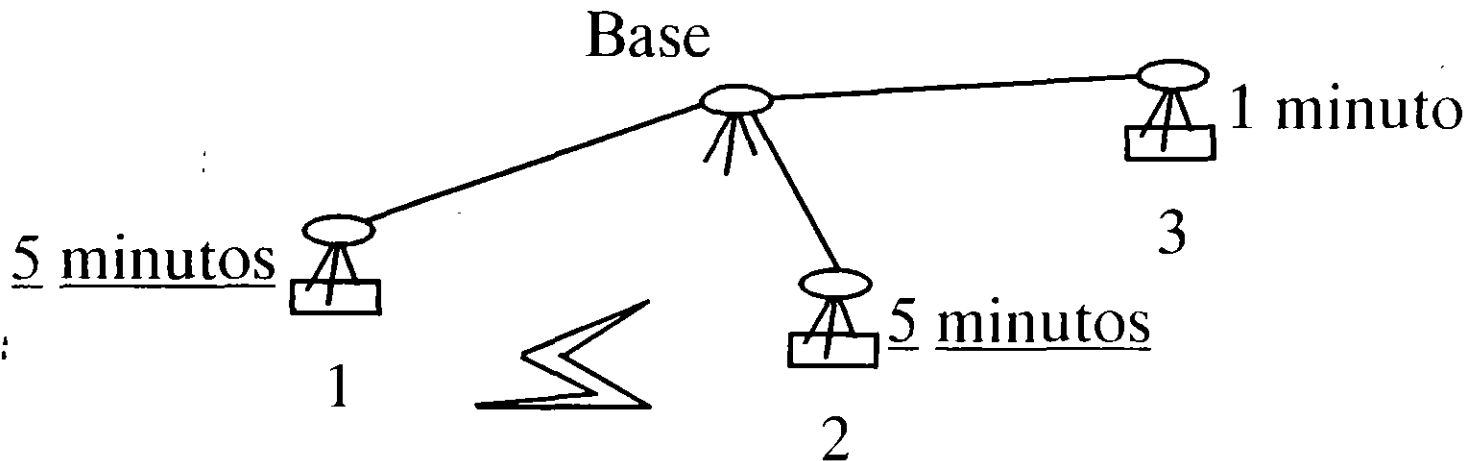


Con pérdida de la señal:

- 30 minutos de inicialización
- 30 minutos de re-inicialización
- 1 minuto por sitio
- 5 segundos de muestreo
- 12 muestras por sitio



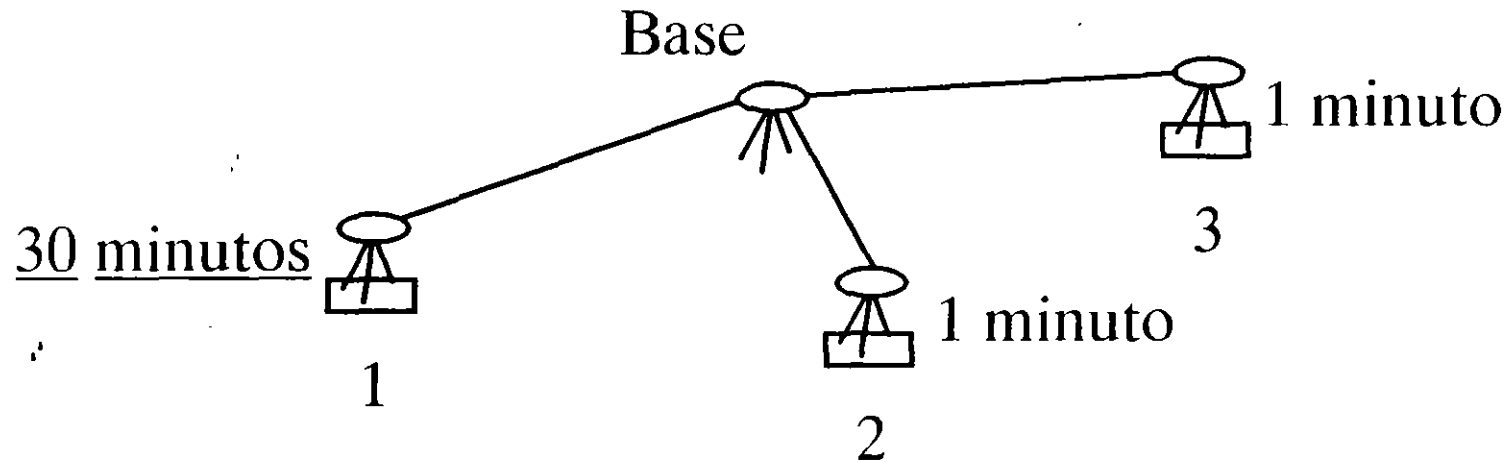
# Inicialización y Muestreo: Código P



Con pérdida de la señal:

- 5 minutos de inicialización
- 5 segundos de muestreo
- 5 minutos de re-inicialización
- 12 muestras por sitio
- 1 minuto por sitio

# Inicialización y Muestreo: Código C/A



Sin pérdida de la señal:

- 30 minutos de inicialización
- 1 minuto por sitio
- 5 segundos de muestreo
- 12 muestras por sitio

# La Regla de los Números

*Al ejecutar una estrategia inteligente:*

*Cuando se sea diez veces más grande, a rodearlos;*

*Cuando se sea cinco veces más grande, a atacarlos;*

*Cuando se sea dos veces más grande, a dispersarlos;*

*Si el oponente está listo para atacar:*

*Cuando se sea menor en número, a evadirlos;*

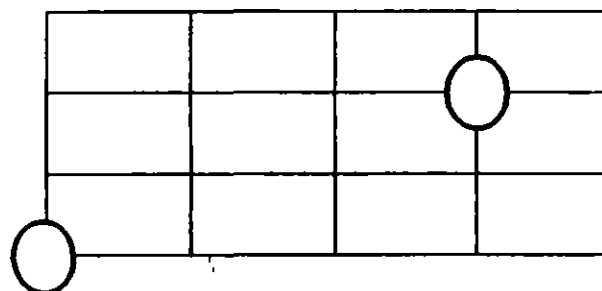
*Cuando no se sea de igual número, a evitarlos.*

*Aún cuando un oponente menos numeroso tenga una posición muy fuerte, el oponente más numeroso lo vencerá.*

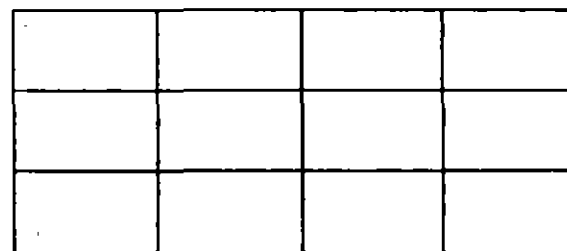
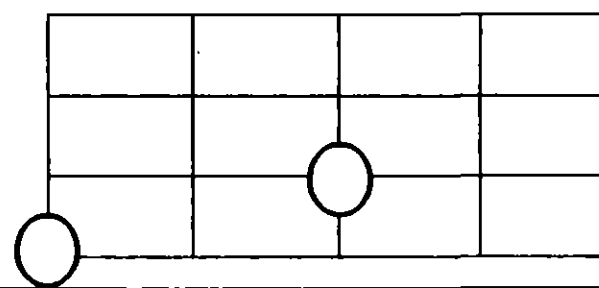
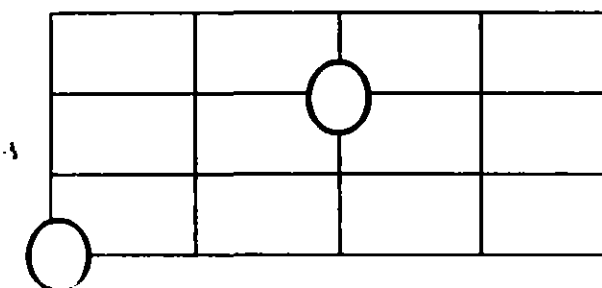
Sun Tsu (circa 300 A.C).

*El Arte de la Guerra*, Capítulo 3: El Plan de Ataque,  
Lección número 10, p. 48.

# 6 Receptores vs 3 Ejidos



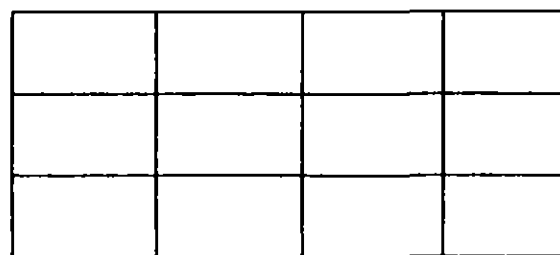
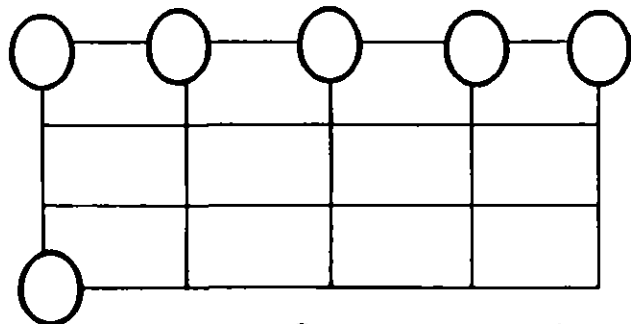
a) En paralelo con 3 brigadas: 19 épocas



b) En serie con 1 brigada; 12 épocas

Conclusión:

Tiempo en Paralelo > Tiempo en Serie



# Optimización de un Levantamiento

Existen dos artículos sobre la optimización logística en el empleo de receptores GPS en el campo:

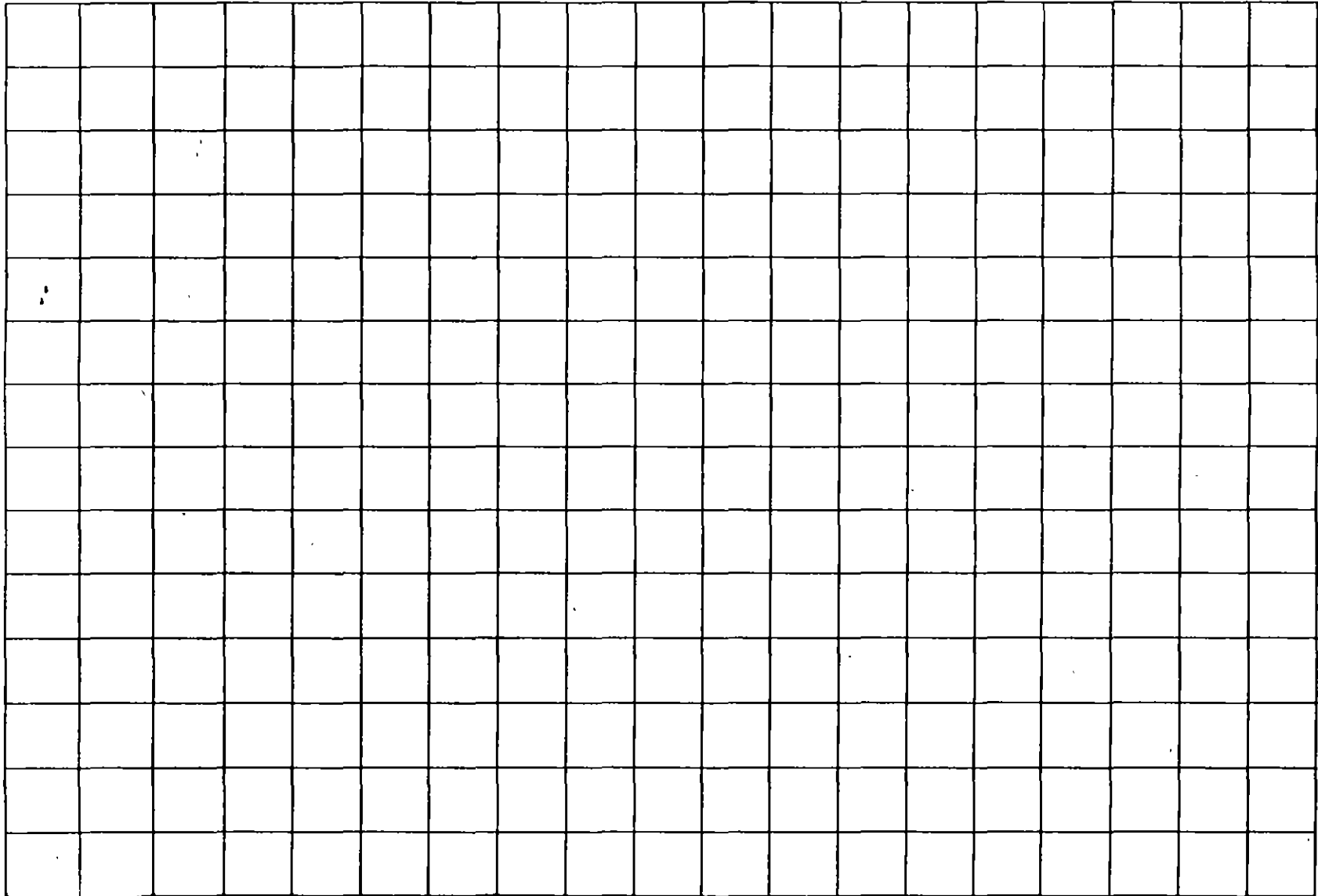
Snay, R.A. (1986). Network design strategies applicable to GPS surveys using three or four receivers. *Bulletin Géodésique* 60, 37-50.

Unguendoli, M. (1990). A rational approach to the use of a large number of GPS receivers. *Bulletin Géodésique* 64, 303-312.

Recomendaciones:

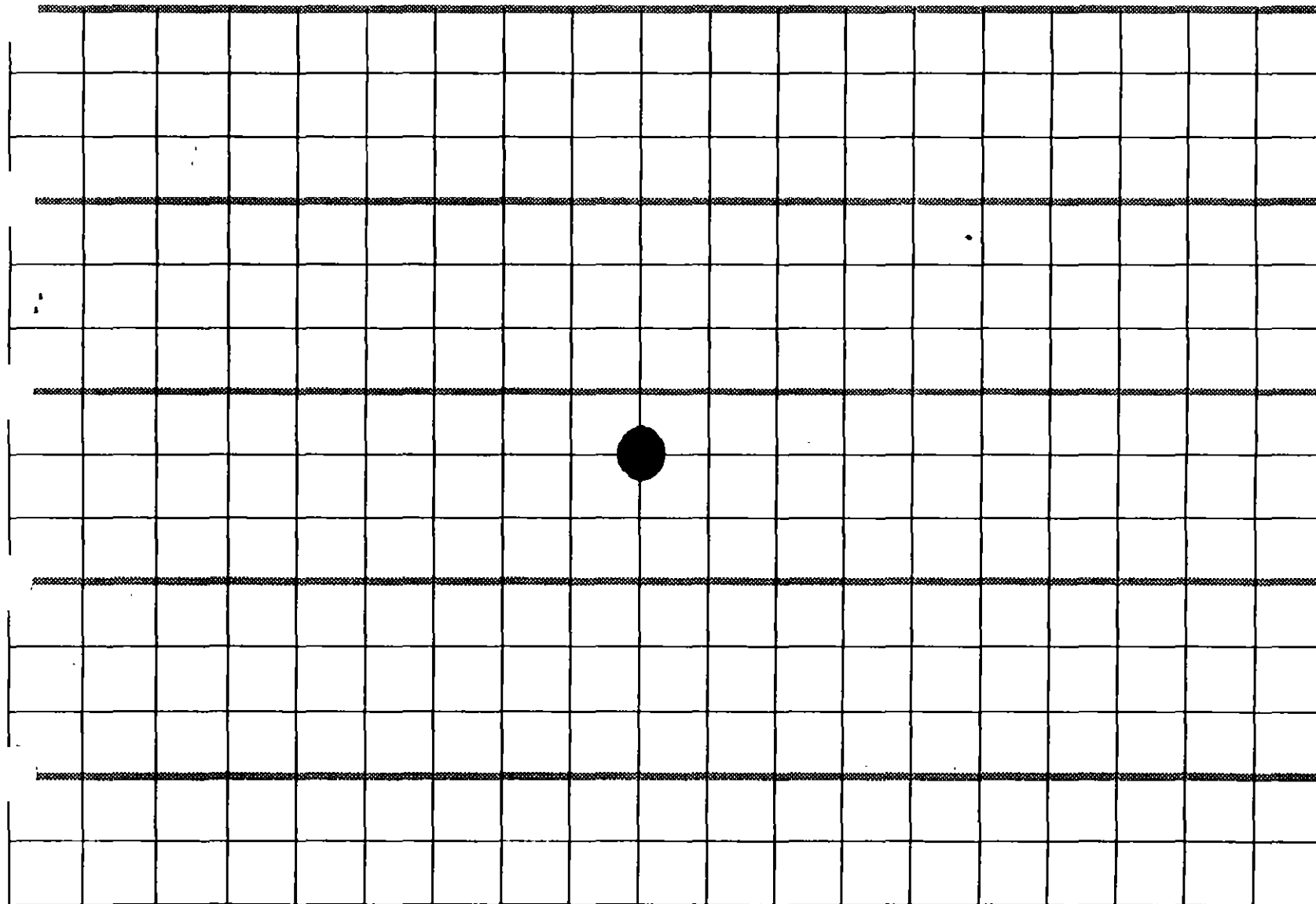
- Cada punto debe de ser ocupado el mismo número de veces.
- Ninguna línea debe de observarse más de una vez.
- Asegurarse de observar consecutivamente las estaciones más cercanas.

# El Ejido Ideal: Plano y Regular



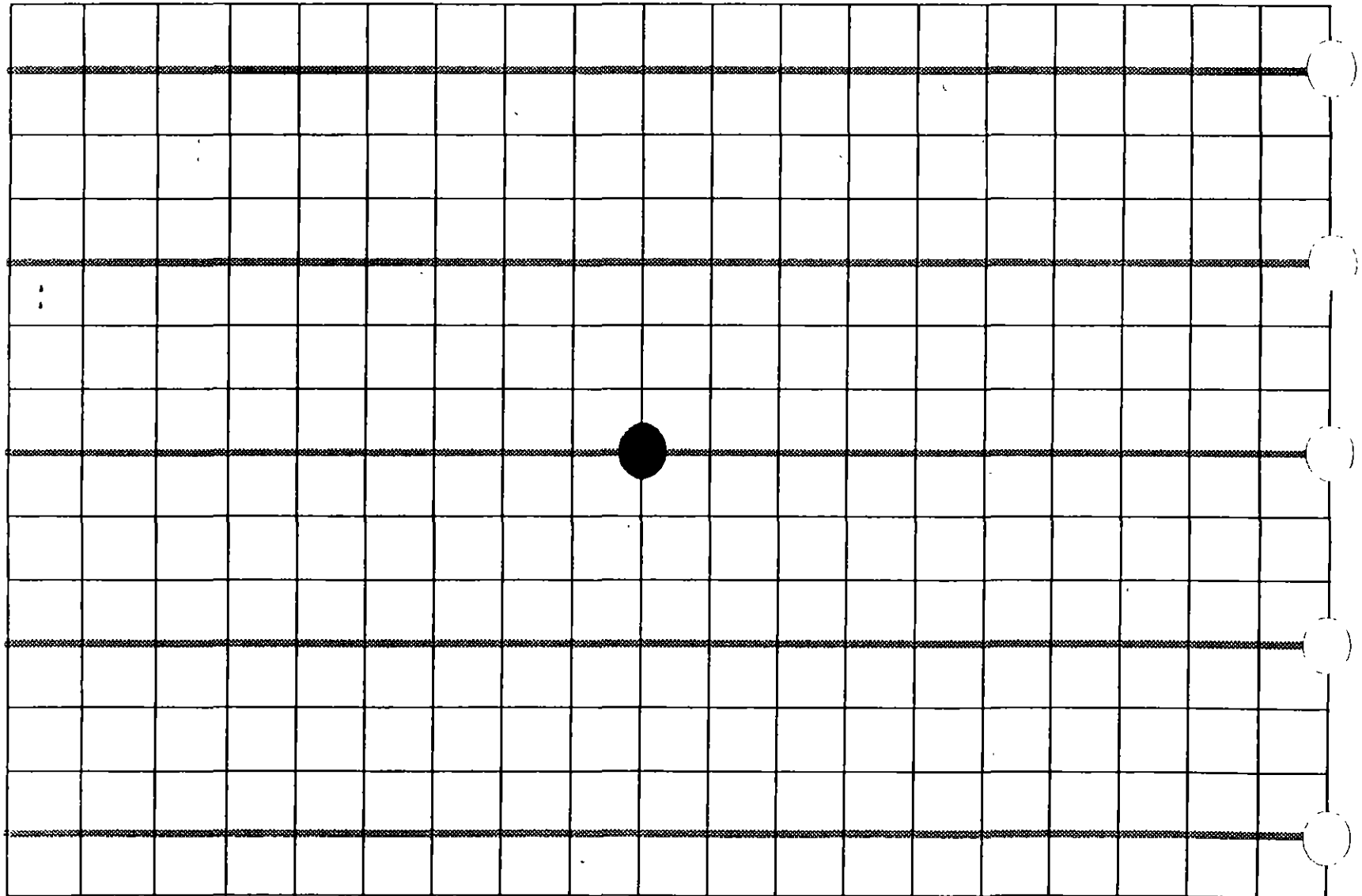


# 6 Receptores en cada Ejido (a)

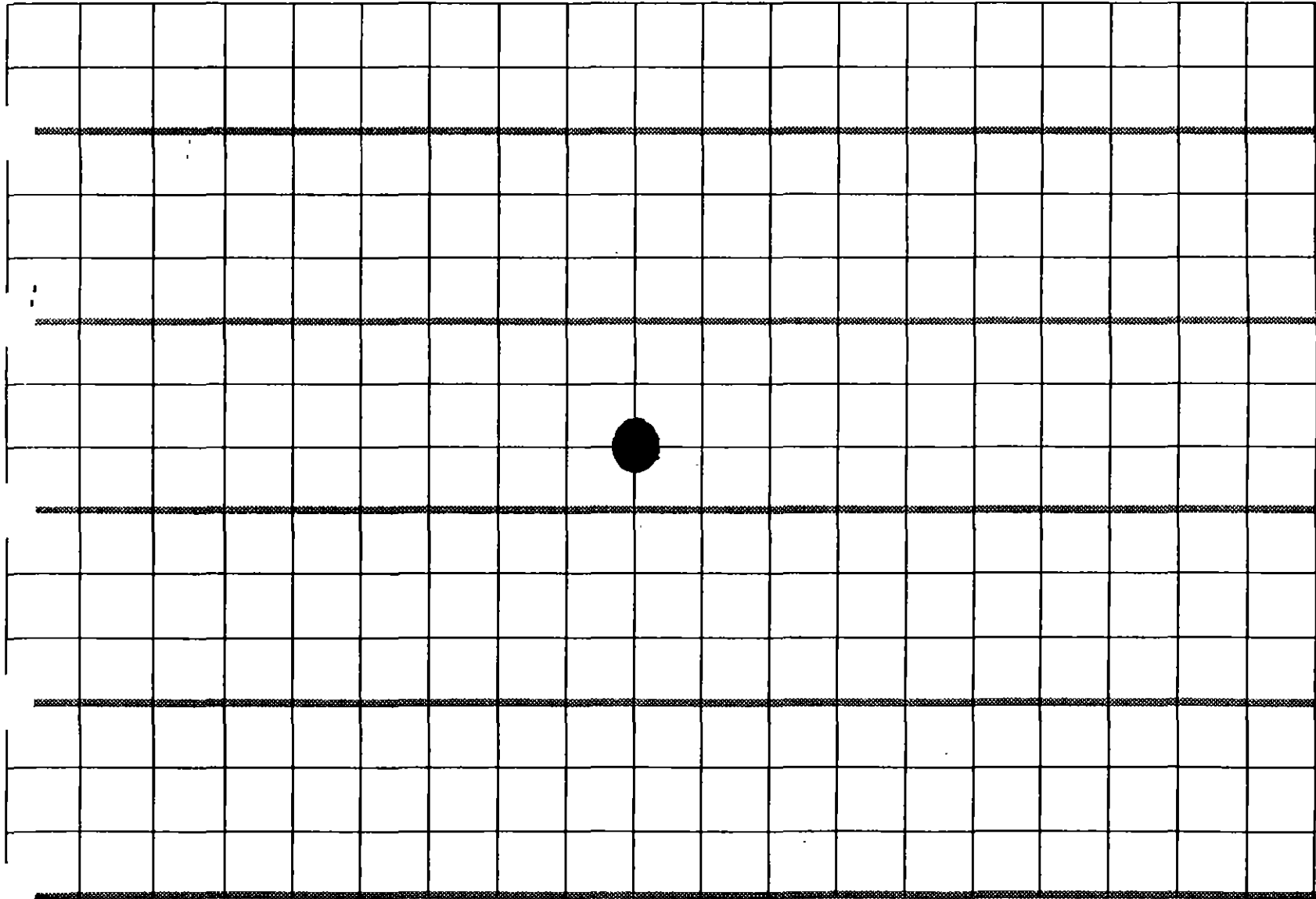




# 6 Receptores en cada Ejido (b)



# 6 Receptores en cada Ejido (c)



# Metodología de Procesado de Datos

Los siguientes pasos se siguen al procesar los datos:

- Pre-análisis de las Mediciones
- Edición de los Datos Observados
- Procesado Estático: Diferencias simples, dobles y triples.
- Ajuste de las Observaciones

# **Sugerencias para Optimizar Precisión y Tiempos**

- Pre-análisis de DOP y el punto inicial
- No sólo dos puntos sino todo ó lo más posible del ejido
- Levantamiento Cinemático ó sus variaciones .
- Logística de campo en serie y no en paralelo

# Conclusiones

- Las redes tridimensionales y las observaciones GPS están sujetas a procesos de optimización en su precisión
- Las observaciones GPS también están sujetas a procesos de optimización en su tiempo de observación
- Los procedimientos actualmente se pueden mejorar considerablemente reemplazando el posicionamiento estático por cinemático y el levantamiento en paralelo por un levantamiento en serie.