# UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN JUAN

# FACULTAD DE INGENIERÍA

**TRABAJO FINAL**

**Correspondiente al plan de estudio de la carrera**

**INGENIERÍA EN AGRIMENSURA**

# "CONTROL DE CALIDAD POSICIONAL DE CARTOGRAFÍA DIGITAL CON MÉTODOS ESTADÍSTICOS, SEGÚN NORMAS ISO 19.100"

ALBAGLI, KAREN JANET

MARTIN, BENJAMIN ANDRES

2018

**AUTORIDADES**

**Rector** Dr. Ing. Oscar Nasisi

**Decano** Mg. Ing. Tadeo Berenguer

**Jefe Dpto:** Esp. Ing. Agrimensor Osvaldo N. Estévez

Profesor Director:

Mg. Ing. Agrimensor Eduardo Márquez

Profesores Subdirectores:

Dr. Ing. Agrimensor Hernan Alvis Rojas

Ing. Agrimensor Laura Velazquez

Comisión Asesora:

Ing. Agrimensor Darío Terluk

Ing. Agrimensor Johana Quinteros

Esp. Ing. Agrimensor Osvaldo N. Estévez

## DEDICATORIA

**Karen**: Dedico este trabajo a mis padres y hermanitos que confiaron en mí y me motivaron a seguir adelante. A mi tata, mi Lela y en especial a mi Nona porque sin ellos difícilmente hubiese alcanzado esta meta.

Lo dedico también al resto de mi familia y amigos que estando lejos o cerca, siempre me acompañaron desde su lugar, y a quienes fueron parte de mi formación en esta hermosa profesión !!!.

**Benjamín**: Agradezco a mis padres y hermanos por estar siempre pendientes de mí y motivarme a seguir adelante en este largo camino que llega a su fin, a mi abuela, novia y mis amigos que en todo momento me apoyaron a seguir adelante en los buenos y malos momentos que me tocó a lo largo de estos hermosos años de carrera.

## AGRADECIMIENTOS

A Dios por iluminar nuestro camino, y darnos la fuerza necesaria para poder lograr éste objetivo, como uno de los más grandes en nuestra vida personal y profesional.

A nuestros padres, familia en general y amigos, por habernos acompañado, aconsejado y motivado durante todo el transcurso de nuestra carrera.

A nuestros asesores del trabajo final Ing. Msc. Agrim. Márquez, Eduardo Dr. Ing. Agrim. Alvis Rojas, Hernán e Ing. Agrim. Velázquez, Laura, por su voluntad y buena predisposición durante el proceso del mismo.

A los integrantes de la comisión evaluadora, Mg. Ing. Agrim. Darío Terluk, Esp. Ing. Agrim. Osvaldo N. Estévez e Ing. Agrim. Quinteros, Johana, por las observaciones aportadas con el fin de mejorar el trabajo.

A quienes colaboraron en los trabajos de campaña, Ing. Darío Terluk, Ing. Laura Velázquez, Ing. Federico García, Julieta Caballero, Pablo Vilagra, Johana Ferra, Martin Pacheco, y Aldana Albornoz, porque sin su ayuda no hubiese sido posible llevarla a cabo.

A todos los docentes y no docentes que aportaron a nuestra formación tanto académica como humana.

## NOTAS OFICIALES

4013

FACULTAD DE INGENIERIA 14/08/2017

FACULTAD DE INGENIERIA FOLIO 1

San Juan, 14 de Septiembre de 2017

Al Señor

Jefe de Departamento de Agrimensura de la

Facultad de Ingeniería

Esp. Ing. Osvaldo N. Estévez

S...../.....D

Los que suscriben: Albagli, Karen Janet, Registro Nº 24027, D.N.I. 35.850.007, nacida el día 12 de marzo del año 1991; Martin, Benjamín Andrés, Registro Nº 23462, D.N.I. 34.182.355, nacido el día 09 de junio del año 1989; en carácter de alumnos regulares de la carrera de Ingeniería en Agrimensura y habiendo finalizado en su totalidad el cursado de la misma, tenemos el agrado de dirigirnos a Usted y por su digno intermedio a quien corresponda, a fin de solicitarle la autorización para dar inicio al Trabajo Final, según lo exige el Plano de Estudio 2004 de la carrera mencionada.

El trabajo Final a realizar lleva por título: "Control de calidad posicional con métodos estadísticos de cartografía digital, según normas ISO 19.100".

Se propone como Director de este Trabajo Final al Ing. Msc. Agrimensor Márquez, Eduardo y como Co-Directores a la Ing. Agrimensora Velázquez, Laura y al Dr. Ing. Agrimensor Alvis Rojas, Hernán.

Sin otro particular y en espera de una respuesta favorable, saludamos muy atentamente.

Albagli, Karen Janet

D.N.I.: 35.850.007

Reg: Nº 24027

Martin, Benjamín Andrés

D.N.I.: 34.182.355

Reg: Nº 23462

14 SEP 2017

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN JUAN
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA EN AGRIMENSURA

San Juan, 16 de Noviembre de 2017.

**VISTO:**

La presentación por Expediente Nº 03-4013-M-17, realizada por los alumnos Benjamín Andrés MARTIN, Reg. Nº 23462, DNI Nº 34182355, y Karen Janet ALBAGLI, Reg. Nº 24027, DNI Nº 35850007, por la cual proponen iniciar el Trabajo Final de la carrera de Ingeniería en Agrimensura, de acuerdo a lo dispuesto por la Ordenanza 08/2004-CD.

Que la citada presentación contiene el título del Trabajo Final "CONTROL DE CALIDAD POSICIONAL CON METODOS ESTATICOS DE CARTOGRAFIA DIGITAL, SEGÚN NORMAS ISO 19.100".

**CONSIDERANDO:**

Que en virtud de lo estipulado en la Ordenanza 08/2004 CD, en el artículo 3 Inc. a;

Que los alumnos mencionados cumplen con las condiciones y exigencias indicadas en la citada Ordenanza;

**EL JEFE DEL DEPARTAMENTO DE AGRIMENSURA**

**RESUELVE**

**ARTÍCULO 1º:** Aceptar la solicitud de los alumnos: Benjamín Andrés MARTIN, Reg. Nº 23462, DNI Nº 34182355, y Karen Janet ALBAGLI, Reg. Nº 24027, DNI Nº 35850007, para iniciar el Trabajo Final.

**ARTÍCULO 2º:** Designar la Comisión Asesora, constituida como Director el Msc. Ing. Eduardo J. MARQUEZ y Codirectores a la Ing. Laura VELAZQUEZ y al Dr. Ing. Hernán Luis ALVIS ROJAS, del Trabajo Final cuyo título es ""CONTROL DE CALIDAD POSICIONAL CON METODOS ESTATICOS DE CARTOGRAFIA DIGITAL, SEGÚN NORMAS ISO 19.100".

RESOLUCIÓN INTERNA Nº 06/17

**ARTÍCULO 3º**: La Comisión Asesora deberá elaborar un Informe sobre el Tema, Título del Trabajo y un Plan General de Trabajo que deberá ser oportunamente elevado a la Jefatura Departamental

**ARTÍCULO 4º**: Archívese, adjuntando a la presente la documentación presentada por los alumnos mencionados.

RESOLUCIÓN INTERNA Nº 06/17

San Juan, 16 de Noviembre de 2017.

Ing. OSVALDO N ESTEVEZ
JEFE DE DEPARTAMENTO
Ing. en AGRIMENSURA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN JUAN
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA EN AGRIMENSURA

San Juan, 06 de Abril de 2018.

**VISTO:**

Que el Trabajo Final para obtener el título de Ingeniero Agrimensor realizado por los alumnos Benjamin Andres MARTIN, Reg. Nº 23462, DNI Nº 34.182.355, y Karen Janet ALBAGLII, Reg. Nº 24027, DNI Nº 35.850.007, cuyo título es: "CONTROL DE CALIDAD POSICIONAL CON METODOS ESTADISTICOS DE CARTOGRFIA DIGITAL, SEGÚN NORMAS ISO 19100", ha sido presentado con el Visto Bueno de la Comisión Asesora, designada por Res. Nº 06/17 DIA y

**CONSIDERANDO:**

Que en virtud de lo estipulado en la Ordenanza 08/2004 CD, es necesario designar los profesores que integran la Comisión Examinadora, la que deberá estudiar, realizar las observaciones, evaluar y aprobar si correspondiere el examen pertinente por ello:

**EL JEFE DEL DEPARTAMENTO DE AGRIMENSURA**

**RESUELVE**

**ARTÍCULO 1º:** Designar a los siguientes profesores para integrar la Comisión Examinadora presidida por el Jefe del Departamento de Ingeniería en Agrimensura Esp. Ing. Osvaldo N. ESTEVEZ y Vocales a los docentes: Msc. Ing. Dario TERLUK y la Ing. Johana QUINTEROS.

**ARTÍCULO 2º:** Dicha Comisión tomará el examen de la asignatura **"Trabajo Final"** a los alumnos arriba mencionados, el día 27 de Abril de 2018, a las 17: 30 Hs.

**ARTÍCULO 3º:** Comuníquese a Secretaría Académica y a los profesores designados a sus efectos, luego archívese.

RESOLUCIÓN INTERNA Nº 05/18

Ing. OSVALDO N. ESTEVEZ
JEFE DE DEPARTAMENTO
Ing. en AGRIMENSURA

**Justificación**

La calidad cartográfica es de vital importancia para aquellos que la generan como para los usuarios de las cartografía.

La justificación del presente trabajo final se desarrolla en base a la relevancia teórica y metodológica que tiene el control de calidad posicional cartográfica según lo dispuesto por normas ISO 19100 apoyado fuertemente en conceptos estadísticos, teniendo en cuenta la finalidad que el mismo persigue.

- ISO 19113: Información Geográfica – Principios de la calidad.
- ISO 19114: Información Geográfica – Procedimientos de evaluación de la calidad.
- ISO 19138: Información Geográfica – Medidas de la calidad.

**Marco Teórico**

La calidad cartográfica hace referencia a un amplio y diverso análisis al que se debería someter toda cartografía existente, fundamentando este análisis mediante métodos estadísticos tanto gráficos como alfanuméricos. Las normas internacionales a partir de las cuales se realizará el ajuste, para el posterior análisis, son las ISO 19100.

El dato geográfico o espacial es un dato que representa a un objeto que tiene dimensiones físicas es decir ocupa un lugar en el espacio. Este dato podrá ser representado entonces en la superficie de la Tierra, en una posición definida en forma absoluta en un adecuado sistema de coordenadas.

Diremos entonces que los datos espaciales son accidentes topográficos, naturales, artificiales o administrativos que pueden ser representados en un mapa, no como una simple descripción de su ubicación, sino tomando el dato en sí como una entidad espacial completando con sus características o atributos.

Básicamente, los datos geográficos están constituidos por dos componentes: una espacial y una temática.

El modelo de datos vectorial representa al espacio como una serie de unidades discretas de polígonos o de líneas o de puntos definidos que están geográficamente referenciados por las coordenadas Cartesianas. La componente espacial o geométrica de un dato geográfico, en éste modelo de representación, está constituida a su vez por:

- La forma que adopta la representación gráfica del objeto espacial, modelados a través de sus primitivos puntos, líneas y polígonos.

- La posición o localización del objeto en un sistema de coordenadas,

- Las relaciones cualitativas o topológicas entre los objetos y por la Geocodificación o sea la asignación de un código que permite la identificación del objeto, para asociarle los atributos que se le asignen.

- **Objetivo General**

- Controlar la calidad posicional plani-altimétrica de productos cartográficos, basándose en normas ISO 19100, mediante el uso de métodos de la estadística descriptiva e inferencial.

- **Objetivos Específicos**

- Determinar, analizar, y ensayar métodos numéricos propuestos con datos reales para el tratamiento del control de la calidad posicional en la producción cartográfica.
- Establecer la importancia de la calidad posicional en la información geográfica y en especial, en los productos cartográficos.
- Identificar, analizar y comparar los diferentes métodos de evaluación internacionales de control posicional de productos cartográficos, y la categorización de dichos productos en función de los mismos (estándares internacionales).

- Relacionar la calidad posicional en la cartografía con la Infraestructura de Datos Espaciales (IDES) y la Interoperabilidad de sus aspectos.

## Metodología

La metodología utilizada se relaciona con los entornos SIG (Sistemas de Información Geográficos) y con las IDES (Infraestructura de datos espaciales), tecnologías pensadas para que administren datos espaciales residentes en bases de datos geográficos y vinculados a la calidad de la cartografía digital en sus aspectos planimétricos como altimétricos.

La tecnología GNSS (Global Navigation Satellite System), con receptores de simple frecuencia, proveerá los elementos lineales y superficiales para la realización de cartografía de base que se usará como marco preciso de referencia para los datos a contrastar, considerando que éstos son de geometría puntual y van a modelar vértices de parcelas, cruces de calles y marcas catastrales.

También se utilizará el diseño de criterios estadísticos para seleccionar el esquema y tamaño de las muestras representativas a tomar como base de la contrastación.

- **Síntesis de metodología :**

**Etapa A**: Introducción y Capacitación teórica de métodos estadísticos y de control posicional cartográfico.

**Etapa B**: Pedido de cartografías digitales de estudio, a entidades públicas.

**Etapa C**: Determinación de las cartas digitales, teniendo en cuenta su estructura geométrica para conformar las muestras representativas de datos en la zona de estudio.

**Etapa D**: Definición de la zona de estudio.

**Etapa E**: Estudio y determinación de métodos de capturas de datos puntuales como fuente de mayor exactitud que funcionaran como parámetros más estables de contrastación, sobre todo para determinar la calidad posicional, mediante métodos geodésicos de gran precisión.

**Etapa F**: Elección y prueba de instrumentos.

**Etapa G**: Campaña de medición con GPS con el método Estático (Con sesiones de corta duración).

**Etapa H**: Procesado de datos en simple frecuencia y análisis de algoritmos para determinar la precisión de cada elemento que conforma la calidad general de los datos espaciales.

**Etapa I**: Cálculo y análisis de los procedimientos empleados a las normas ISO 19100 (Normas de calidad posicional 19113, 19114 y 19138).

**Etapa J**: Redacción de informe final con resultados finales y conclusiones de los mismos.

| SEMANAS | ETAPAS | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J |
| SEPTIEMBRE - 2017 | | | | | | | | | | |
| 1 | | | | | | | | | | |
| OCTUBRE - 2017 | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | |
| NOVIEMBRE - 2017 | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | | |
| DICIEMBRE - 2017 | | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | | |
| 11 | | | | | | | | | | |
| 12 | | | | | | | | | | |
| FEBRERO - 2018 | | | | | | | | | | |
| 13 | | | | | | | | | | |
| 14 | | | | | | | | | | |
| 15 | | | | | | | | | | |
| MARZO - 2018 | | | | | | | | | | |
| 16 | | | | | | | | | | |
| 17 | | | | | | | | | | |
| 18 | | | | | | | | | | |
| ABRIL - 2018 | | | | | | | | | | |
| 19 | | | | | | | | | | |
| 20 | | | | | | | | | | |

## Zona de Estudio

Las tareas de campo se desarrollarán en el ámbito de la provincia de San Juan, en la zona norte del departamento Pocito, determinada por una serie de criterios y condiciones que se presentan tanto en el terreno, en el momento de realizar la campaña de medición de puntos de contraste, como en la cartografía de estudio.

## Recolección de Datos

Los datos serán obtenidos por medio de la elaboración de notas oficiales a la Dirección de Geodesia y Catastro de la provincia de San Juan, ubicada en el 4to piso del Centro Cívico.

**Recursos Disponibles**

- **Equipos de medición:**

- GPS “Trimble 5700” de Simple y Doble frecuencia.
- 4 Conos, Cinta milimetrada de 50 metros, 4 chalecos de seguridad refractantes, 2 trípodes, 1 base nivelante.

Todos estos equipos mencionados fueron aportados por el departamento de Ingeniería en Agrimensura de la Universidad Nacional de San Juan (UNSJ).

- **Infraestructura para la capacitación y procesado de trabajo final:**

- Centro de Fotogrametría , Cartografía y Catastro - CEFOCCA
- Departamento de Ingeniería en Agrimensura de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Juan.

V°B°
Ing. OSVALDO N ESTEVEZ
JEFE DE DEPARTAMENTO
Ing. en AGRIMENSURA

**Director de trabajo final:**

.....

Mg. Ing. Agrimensor Eduardo Marquez

**Subdirectores de trabajo final:**

.....

Ing. Agrimensor Laura Velazquez

.....

Dr. Ing. Agrimensor Hernán Alvis Rojas

**Alumnos:**

.....

Albagli, Karen Janet

.....

Martin, Benjamín Andrés

San Juan, 05 de Abril de 2018

**Al Sr.**

**Jefe del Departamento de Agrimensura**

**Facultad de Ingeniería de la UNSJ**

**Esp. Ing. Osvaldo Estévez**

**S...../.....D**

Los abajo firmantes se dirigen a Ud. y por su digno intermedio y ante quien corresponda, para informarle que los alumnos Albagli, Karen Janet, Reg. Nº 24027, D.N.I. Nº 35850007 y Martin, Benjamín Andrés, Reg. 23462, D.N.I. Nº 34182355 han finalizado el Trabajo Final de la carrera de Ingeniería en Agrimensura el cual tiene como requisito para la obtención del título de Ingeniero Agrimensor. Bajo Ordenanza 08/2004.

El mismo tiene como Título: "CONTROL DE CALIDAD POSICIONAL CON MÉTODOS ESTADÍSTICOS DE CARTOGRAFÍA DIGITAL, SEGÚN NORMAS ISO 19.100".

Sin otro particular y a la espera de una respuesta favorable, saludan a Ud. Muy atentamente.

.....
Director: Ing. Msc. Agrim. Márquez, Eduardo

.....
Codirector: Dr. Ing. Agrim. Alvis Rojas, Hernán

.....
Codirectora: Ing. Agrim. Velázquez, Laura

Ing. OSVALDO N ESTEVEZ
JEFE DE DEPARTAMENTO
Ing. en AGRIMENSURA

# INDICE Página

**1. CONTROL DE CALIDAD POSICIONAL DE CARTOGRAFÍA DIGITAL CON MÉTODOS ESTADÍSTICOS, SEGÚN NORMAS ISO 19100 ..... 4**
1.1. Definición del tema. ..... 4
1.2. La cartografía digital en la actualidad ..... 8
**2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA: ..... 12**
2.1 Justificación ..... 12
2.2 Objetivos de Investigación ..... 13
2.3 Hipótesis ..... 13
**3. MARCO TEÓRICO ..... 14**
3.1 Introducción a las Normas sobre Calidad en Información ..... 14
3.2 ISO 19113: Principios de la calidad ..... 14
3.3 ISO 19114: Procedimientos de evaluación de la calidad. ..... 16
3.4 ISO 19138: Medidas de la calidad. ..... 16
**4. MARCO Y SISTEMA DE REFERENCIA ..... 17**
4.1. Sistema internacional de Referencia Terrestre ..... 18
4.2. Marco internacional de Referencia Terrestre ..... 18
4.3. Sistema de altura ..... 21
**5. SISTEMA GLOBAL DE NAVEGACIÓN SATELITAL: GNSS ..... 22**
5.1. Estructura de la señal GPS / GNSS ..... 24
5.2. Principios básicos de GPS / GNSS ..... 25
**6. POSICIONAMIENTO RELATIVO ..... 27**
6.1. Principios del posicionamiento absoluto ..... 29
6.2. Principios del posicionamiento relativo ..... 29
**7. SIMPLES, DOBLES Y TRIPLES DIFERENCIAS DE FASE ..... 30**
**8. TÉCNIAS DE MEDICIÓN ..... 30**
8.1. Estático ..... 31
8.2. Estático Rápido ..... 31
8.3. Cinemático ..... 31
8.4. Stop And Go ..... 31
8.5. Navegación Precisa a tiempo Real RTK ..... 31
8.6. Campaña GPS / GNSS ..... 32
**9. CARTOGRAFÍA MATEMÁTICA ..... 34**
9.1. Proyecciones Cartográficas ..... 34

9.2. Proyecciones Gauss-Krüger ..... 36
9.3. Características de la Proyección Gauss-Krüger ..... 36
**10. ESTADÍSTICA ..... 38**
10.1. Introducción ..... 38
10.2. Definición ..... 38
**11. ESTADISTICA DESCRIPTIVA ..... 39**
11.1. Métodos Gráficos ..... 39
11.2. Métodos Numéricos ..... 43
**12. ESTADISTICA INFERENCIAL ..... 50**
12.1. Métodos para obtener los Estimadores ..... 53
**13. METODOLOGÍA PARA EL CONTROL DE LA EXACTITUD POSICIONAL HORIZONTAL EN LA CARTOGRAFÍA DIGITAL ..... 62**
13.1. Análisis de Correlatividad de las variables ..... 64
13.2. Determinación y Eliminación de Errores Groseros ..... 65
13.3. Determinación de Sesgos o Bias (sistematisismo) ..... 66
13.4. Control de Precisiones Horizontales ..... 67
13.5. Cálculo de la Precisión Media ..... 67
**14. NORMALIZACIÓN Y CALIDAD ..... 69**
14.1. Definición ..... 69
14.2. Introducción a la Normalización y Calidad de la Carta ..... 69
**15. NORMAS DE CALIDAD POSICIONAL ISO 19100 ..... 71**
15.1. ISO 19113 – Principio de Calidad ..... 71
15.2. ISO 19114 – Procedimientos para la evaluación de la calidad. ..... 74
15.3. ISO 19138 – Medidas de la calidad ..... 77
15.4. Conclusiones de Normas ISO 19113 – 19114 - 19138 ..... 82
**16. ESTÁNDARES EN EL CONTROL DE CALIDAD POSICIONAL ..... 82**
16.1. Método NMAS (National Map Accuracy Standard) ..... 84
16.2. Método EMAS (Engineering Map Accuracy Standard) ..... 85
16.3. Método NSSDA (National Standard for Spatial Data Accuracy) ..... 87
**17. MARCO METODOLÓGICO ..... 91**
17.1. Zona de Estudio ..... 92
17.2. Capas de Estudio: ..... 94
**18. CAMAPAÑA DE MEDICIÓN EN TERRENO DE PUNTOS DE CONTRASTE ..... 101**
18.1. Equipo de Medición ..... 101
18.2. Especificaciones Técnicas - GPS Trimble 5700 ..... 103
18.3. Determinación de Puntos ..... 104

18.4. Medición en Campo ..... 106
**19. PROCESADO DE PUNTOS Y RESULTADOS DE CAMPAÑA ..... 109**
19.1. Exactitud Posicional Horizontal (Planimetría) ..... 113
19.2. Exactitud Posicional Vertical (Altimetría) ..... 113
19.3. Transferencia de cotas del MDE a la capa de puntos de carta. ..... 116
19.4. Transformación de coordenadas Elipsoidales a Ortométricas a partir de la Ondulación de Geoide. ..... 120
**20. TRATAMIENTO NUMÉRICO ..... 123**
20.1. Análisis Exploratorio de Datos Planimétricos ..... 123
20.2. Análisis Exploratorio de Datos Altimétricos ..... 137
**21. CONCLUSIONES FINALES: ..... 148**
**ANEXOS ..... 154**
ANEXO 1 ..... 154
ANEXO 2 ..... 167
ANEXO 3 ..... 169
ANEXO 4 ..... 171
**22. BIBLIOGRAFÍA ..... 177**

# 1. CONTROL DE CALIDAD POSICIONAL DE CARTOGRAFÍA DIGITAL CON MÉTODOS ESTADÍSTICOS, SEGÚN NORMAS ISO 19100

A continuación se explicará cada uno de los términos que componen el título de este trabajo:

- Control de calidad posicional: Es el estudio realizado sobre una cartografía o base de datos geográficos (BDG), en el que se evalúa la calidad con la que se realiza la misma sobre un producto o proceso con el objeto de decidir si dicho producto cumple con ciertos requisitos, especificaciones o expectativas.
- De cartografía digital: es una forma de cartografía que utiliza la tecnología informática para la representación de mapas.
- Con métodos estadísticos: siendo la estadística el arte de realizar inferencias y sacar conclusiones a partir de valores observados.
- Según Normas ISO 19100: El comité internacional ISO/TC 211 comenzó a trabajar en noviembre de 1994 con el objetivo de establecer normativa de referencia en el campo de la información geográfica digital, pensada para la transferencia de datos. Como resultado de este trabajo, apareció la familia ISO 19100, un conjunto de normas relacionadas con objetos o fenómenos que están directa o indirectamente asociados con una localización relativa a la Tierra.

## 1.1. Definición del tema.

Definición de cartografía: La cartografía (del griego χάρτης, chartēs = mapa y γραφειν, graphein = escrito) es la ciencia que se encarga de reunir y analizar medidas y datos de regiones de la Tierra, para representarlas gráficamente a diferentes dimensiones lineales — escala reducida —

La Asociación Cartográfica Internacional (International Cartographic Association) define a la Cartografía como el arte, la ciencia y la tecnología de la elaboración de mapas y el estudio de estos como documentos científicos y obras de arte. Porque aunque los mapas son objetos de innegable utilidad, también pueden constituir auténticos ejercicios artísticos.

Concepto de cátedra: La cartografía es la ciencia que trata de expresar gráficamente el conocimiento que se tiene de la superficie terrestre en sus más diversos aspectos.

Como el objeto inmediato de la cartografía es el establecimiento de cartas, entonces también debe definirse en forma precisa el concepto de la carta. La asociación Cartográfica Internacional la define como: “Representación convencional, generalmente plana, en posiciones relativas de fenómenos concretos o abstractos localizables en el espacio”. Esta definición de carta es amplia y dentro de sus límites, que no son absolutos, podemos señalar que se encuentran los mapas propiamente dichos y los planos.

Mapa: modelo análogo, que poseen algunas propiedades similares a los objetos representados, pero sin ser una réplica morfológica de los mismos: un mapa es un modelo de la realidad establecido mediante un conjunto de convenciones relativamente complejos que conduce a un resultado final, claramente distinto del objeto representado.

Mapas: representación cartográfica de toda, o parte de la superficie terrestre dibujada por lo general en un lámina:

- Escala pequeña, (1:250.000 a 1:1.000.000 y menores) mapa general de la provincia con división política.
- Escala media, (1:10.000 a 1:250.000) mapas de departamentos según convenga a la forma y dimensión del departamento a representar.
- Planos: documentos gráficos - numéricos dibujados en escalas grandes:
- Escala grande: (1:1.000 a 1:10.000) planos de secciones catastrales destinados al registro gráfico parcelario y asignación de nomenclatura catastral de parcelas
- Escalas muy grandes: (1:250 a 1:1.000) planos de, manzanas con parcelamiento con indicación de ángulos, longitud, superficie y nomenclatura catastral de parcela.

## Proceso cartográfico según la UNESCO:

El proceso cartográfico está compuesto por tres etapas

Concepción: formada por el estudio teórico de la leyes, principios y sistemas de representación. Fase denominada “cartografía matemática”.

Producción: selección de datos, escalas y materialización de los sistemas de proyección, finalizando con las técnicas de reproducción. Fase íntimamente ligada a la topografía, y la fotogrametría que facilitan el relevamiento de una parte de la superficie terrestre; con la astronomía que ubica los puntos de la superficie terrestre en base a coordenadas tridimensionales (x, y, z ) de los puntos sobre la superficie esférica de los puntos sobre la superficie esférica o elipsóidica, con sus parámetros y radios de curvatura correspondientes.

De esta forma, la cartografía puede ensamblar lo relevado por medios topográficos con lo geodésico, para dar una imagen plana de la superficie de la tierra, y fijar la posiciones de los puntos en base a coordenadas planas rectangulares ( X, Y ), fáciles de visualizar y cómodas de manejar numéricamente con la trigonometría plana.

La importancia de la cartografía radica en la necesidad y la utilidad de representar espacios geográficos en mapas, esto para comprender las características del medio, entre ellas sus altitudes, su topografía, la accesibilidad a recursos y evidentemente para la ubicación de puntos específicos de la tierra.

Tradicionalmente la cartografía se ha representado sobre papel, utilizando para su estudio todo el conjunto de técnicas referidas a ella por no existir otro medio mejor.

Esta cartografía, aunque muy adecuada para determinados usos por su facilidad de transporte y manejo, presenta ciertos inconvenientes:

- Los datos originales se simplifican para hacer el mapa legible (generalización), de este modo muchos detalles locales se pierden;
- Las áreas grandes quedan divididas entre varias hojas que, si han sido realizadas por diferentes autores presentarán información diferente en sus bordes.
- Resulta complejo e inexacto combinar información de diferentes mapas, especialmente si están a diferente escala;
- Se trata de documentos estáticos, ya que por su elevado coste tardan muchos años en ser actualizados, y fundamentalmente cualitativos ya que resulta difícil representar medidas cuantitativas salvo que se utilicen isolineas lo que implica una discriminación importante de los valores;
- Disparidad de criterios entre hojas y entre ediciones.

## La cartografía y sus avances.

A partir de mediados del siglo XX se producen un conjunto de fenómenos que llevan al desarrollo de la cartografía digital:
- Se incrementan tanto la demanda como la disponibilidad de datos espaciales y de técnicas para su análisis.
- La necesidad de controlar los cambios acelerados que sufre la superficie terrestre debido a procesos de naturaleza dinámica convierten a los mapas en papel en herramientas prácticamente inadecuadas debido a su naturaleza estática.
- El trabajo en diversas líneas de investigación básica y aplicada en ciencias de la Tierra y medioambientales suele requerir la combinación de varios mapas representando diferentes propiedades para una misma zona y en diferentes períodos de tiempo, así como la incorporación de bases de datos temáticas.
- El conjunto de desarrollos tecnológicos globalmente denominados tecnologías de la información han permitido manejar grandes volúmenes de datos espaciales a muy bajo costo.
- Desarrollo de herramientas de digitalización y automatización de la cartografía.
- Desarrollo de programas y herramientas destinados a la integración y análisis de la misma, especialmente los Sistemas de Información Geográfica (SIG).
- Disponibilidad de información espacial a intervalos regulares de tiempo (imágenes de satélite).
-Reducción del precio del hardware con lo que los SIG y la teledetección dejan de ser privativos de grandes centros de investigación o la administración.
- Aparición de medios de almacenamiento y desarrollo de internet con lo que desaparecen los gastos en almacenamiento y distribución de información digital.

## Tipos de cartografía:

- **Cartografía Analógica**: Son los mapas obtenidos por procedimientos gráficos, sean los que sean, y por extensión a todo el conjunto de operaciones destinadas a la obtención de la información en “soporte papel” con la que se diseña el mapa. En la cartografía análoga el propio mapa impreso o los positivos fotográficos que se emplean para su obtención constituyen los documentos finales donde queda guardada la información cartográfica. Cualquier corrección, modificación o puesta al día de la cartografía análoga se realiza actuando sobre los documentos gráficos que contienen la información.
- **Cartografía Digital**: Definido como “el campo que involucra la representación gráfica de elementos espaciales, entrada manipulación y salida de datos geográficos con ayuda del computador”.

Las diferencias fundamentales entre cartografía en papel y cartografía digital son:
- Mientras que la Cartografía en papel tiene un carácter estático, la Cartografía Digital es dinámica en el sentido de que es mucho más sencillo, tanto desde el punto de vista tecnológico como económico, su actualización.
- La información debe estar perfectamente estructurada y sin ambigüedades para que los programas la puedan interpretar. Los ordenadores no pueden deducir la información eliminada o modificada por los procesos de generalización que puedan haberse utilizado. Un ejemplo habitual son las curvas de nivel cortadas para introducir una etiqueta de texto.
- Se introduce el concepto de capa como fichero, o parte de un fichero, que contiene información espacial de una sola variable (en algunos casos un fichero puede almacenar varias

capas). Se reserva el término mapa para una combinación de capas preparadas para su visualización o impresión. No debe mezclarse información de diferentes tipos en una misma capa.

| Propiedad | ANALÓGICO | DIGITAL |
|---|---|---|
| Manejo | Sencillo | Complejo |
| Estabilidad | Baja | Alta |
| Transportabilidad | Alta | Baja |
| Actualización | Compleja | Sencilla |
| Tratamiento Numérico | Difícil | Fácil |
| Simulación | No | Si |

Tres tipos de programas se han utilizado tradicionalmente para el manejo de datos espaciales:

- Programas de CAD (Diseño Asistido por Ordenador). Permite dibujar puntos, líneas y áreas en pantalla a partir de un sistema de coordenadas definido por el usuario. Se han utilizado sobre todo en arquitectura, ingeniería y diseño. Podían emplearse también, aunque de forma limitada, para hacer mapas.
- Programas de cartografía automática. Programas para crear mapas en impresoras de texto utilizando diferentes caracteres para simbolizar diferentes entidades o valores de variables.
- Programas para teledetección. Permitían generar mapas como nuevas imágenes obtenidas a partir de las imágenes originales captadas por el satélite. Hasta principios de la década de los noventa requerían hardware específico por la escasa potencia de los ordenadores personales.

Todos estos programas, junto con los programas de gestión de bases de datos o las aplicaciones estadísticas, empiezan a converger a principios de los setenta hacia un nuevo tipo de aplicación informática, los Sistemas de Información Geográfica (SIG) orientados a la codificación, gestión y cartografía de variables y entidades espaciales.

Los SIG se han desarrollado por tanto a partir de la confluencia de conceptos, ideas, métodos de trabajo, terminología e incluso prejuicios aportados por profesionales procedentes de diferentes campos. La interacción de estos profesionales ha supuesto que el desarrollo no haya seguido siempre la misma dirección y que aparezcan incluso perspectivas bastante diferentes de lo que es un SIG. Por ejemplo, pensando en la importancia que se otorga al tiempo aparecerán en un extremo los cartógrafos y en el otro los ecólogos. Para los primeros el tiempo no tiene importancia, mientras que los segundos estudian procesos que ocurren en el espacio pero a una velocidad relativamente alta.

La Cartografía exige entonces que, los profesionales tengan conocimientos de geografía, geometría, estadística y otras ciencias, combinadas con un estilo artístico que presenten los mapas de forma estética y clara, de tal manera que la cartografía generada comunique eficazmente su intención, acorde al objetivo pretendido.

En la cartografía digital todo el proceso de elaboración del mapa, desde la captura de datos hasta la obtención de los positivos con los que se lleva a cabo la impresión del mapa en papel, se realiza en “soporte digital”. Con independencia de que la cartografía digital se obtenga un mapa impreso en papel, toda la información del mapa es de tipo numérico, y en este formato es como queda almacenada.

Cualquier actuación posterior sobre la información que contiene el mapa se hará sobre su formato numérico.

Fundamentalmente, la entrada, manipulación y salida de datos, corresponde a la cartografía

digital y no constituye una nueva ciencia, comprende el mismo concepto cartográfico para producir mapas, pero con el soporte de la tecnología del computador.

**Ventajas de la cartografía digital sobre la análoga**

• Eliminación de procesos laboriosos

• Agilización en la realización de proyectos, actualizaciones, modificación, etc.

• Velocidad de ejecución

• Fácil manipulación

• Inmutabilidad del mapa en el tiempo.

• Fácil tratamiento geométrico de la información

• Posibilidad de un uso selectivo de la información

• Fácil paso de la información a cualquier sistema de representación cartográfica

• Fácil realización de copias de seguridad

• Posibilidad de efectuar salidas del mapa en soporte digital (CD-ROM)

• Posibilidad de transferir datos a un Sistema de Información Geográfica (SIG)

• Fácil almacenamiento.

**Requerimientos de la cartografía digital sobre la analógica**

• Necesidad de costosos equipos informativos (“hardware”)

• Necesidad de un soporte lógico (“software”)

• Necesidad de bases de datos cartográficos en formato digital compatible

• Necesidad de operadores con conocimientos cartográficos e informáticos.

## 1.2. La cartografía digital en la actualidad

Las representaciones cartográficas se pueden realizar mediante los denominados SIG (sistema de información geográfica), es así que, “Un Sistema de Información Geográfica es un ambiente donde un equipo multidisciplinario, que administra un conjunto de componentes informáticas integradas y que relaciona datos espaciales de un territorio claramente delimitado, genera información para el logro de un propósito predeterminado.”

## El Dato Gráfico o Espacial

El dato geográfico o espacial es un dato que representa a un objeto que tiene dimensiones físicas es decir ocupa un lugar en el espacio. Este dato podrá ser representado entonces en la superficie de la Tierra, en una posición definida en forma absoluta por algún sistema de coordenadas.

Diremos entonces que los datos espaciales son accidentes topográficos, naturales, artificiales o administrativos que pueden ser representados en un mapa, no como una simple descripción de su ubicación, sino tomando el dato en sí como una entidad espacial.

Básicamente, los datos geográficos están constituidos por dos componentes: una espacial y una temática.

La representación de la componente espacial puede ser lograda a través de dos modelos de almacenamiento de datos que se denominan: vectorial y “raster” respectivamente.

## Modelo de Representación Vectorial

El modelo de datos vectorial representa al espacio como una serie de unidades discretas de polígonos, líneas o puntos definidos que están geográficamente referenciados por las Coordenadas Cartesianas.

La componente espacial o geométrica de un dato geográfico, en éste modelo de representación, está constituida a su vez por:

- La forma que adopta la representación gráfica del objeto espacial,
- La posición o localización del objeto en un sistema de coordenadas,
- Las relaciones cualitativas o topológicas entre los objetos y por la Geocodificación o sea la asignación de un código que permite la identificación del objeto, para asociarle los atributos que se le asignen.

## Formas del Objeto o Entidad Gráfica

Los GIS modelan la realidad sobre la que se va a trabajar, montando un escenario virtual del espacio territorial en estudio. La forma de simular esa realidad es usar formas o entidades gráficas, que son un punto, una línea (arco) o un polígono.

Las entidades de polígonos, líneas y puntos simples son esencialmente representaciones estáticas de los fenómenos en función de las coordenadas X Y. Se supone que no cambian, y que no contienen ninguna información sobre variabilidad espacial o temporal. Una entidad de punto implica que las extensiones geográficas del objeto están limitadas a una ubicación que puede ser especificada por un grupo de coordenadas X Y en el nivel de resolución de la abstracción.

Una entidad de línea implica que las extensiones geográficas del objeto se pueden representar adecuadamente mediante grupos de pares de coordenadas XY que definen una trayectoria conectada a través del espacio, pero que no posee un ancho verdadero a menos que se lo especifique en términos de un atributo adjuntado.

La definición más simple del polígono implica que es una representación homogénea de un espacio en 2D. Esto también depende del nivel de resolución. El polígono se puede representar en términos de coordenadas XY de sus límites, o en términos del grupo de coordenadas X Y que están encerradas por dicho límite. Los polígonos pueden contener huecos, estos poseen

vecinos directos, y diferentes polígonos con las mismas características pueden ocurrir en distintas posiciones.

Si el límite puede ser claramente identificado, éste puede ser especificado en términos de una lista enlazada de un número limitado de coordenadas XY; el tamaño del grupo de coordenadas X Y incluidas depende del nivel de resolución espacial que se utiliza. Muy a menudo se asume que el nivel de resolución está determinado por el número de decimales en el cual se especifican las coordenadas o el límite, que significa que codificar usando los límites es más eficiente que enumerar todas las coordenadas que se encuentran dentro de la cubierta del límite.

La posición que ocupa la entidad en el espacio está definida por las coordenadas de los vértices de la figura que lo representa, en un sistema de referencia conocido.

En todos los casos es absolutamente necesario que todas las entidades estén referidas al mismo sistema.

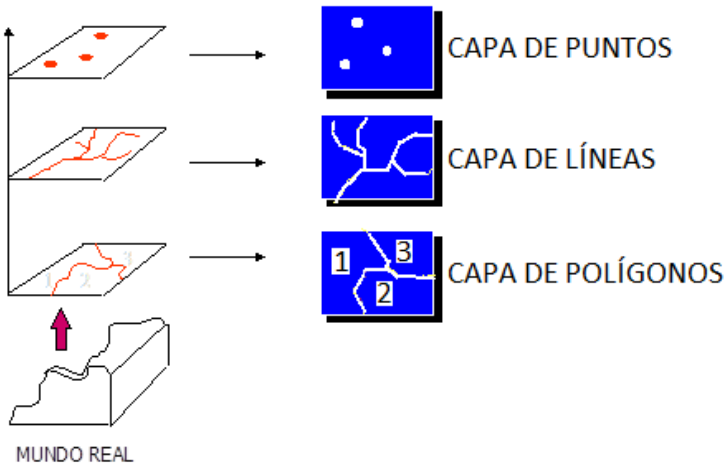



Figura 1.1

## Componentes de un SIG

Para garantizar el éxito en la implementación de un Sistema de Información Geográfica, debemos considerar que en su diseño intervienen cinco componentes que, para simplificar denominaremos:

- HARDWARE (H),
- SOFTWARE (S),
- DATOS (D),
- PROCEDIMIENTOS (P),
- RECURSOS HUMANOS (RH),
- DECISIÓN POLÍTICA (DP).

$$SIG = H * S * D * P * RH * DP$$

Cada uno de estos componentes gravita de manera fundamental en la calidad del producto final, a punto tal que la posible ausencia de alguno de ellos haría fracasar el mismo.

Casi todas las actividades diarias que al hombre le toca desarrollar, tienen algo que ver con la información geográfica, la cual estará influenciada por la tecnología de la computación, las disciplinas académicas de las ciencias de la información geográfica tales como sensores

remotos, GIS y cartografía digital, revolucionando ésta última enormemente a la cartografía tradicional, a partir de la confección en sí de la carta hasta el manejo y análisis de los datos geográficos, todo apoyado en un ambiente multimedial.

En la actualidad, la producción de mapas geográficos, y cartas topográficas, cobra una especial relevancia antes las nuevas oportunidades que brindan las modernas bases digitales de datos y las numerosas posibilidades de tratamiento informático, por lo cual, la aparición en escena de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) han revolucionado las técnicas de manejo de datos espaciales.

Es entonces que, la cartografía en la época de la Web 2.0 se ha extendido hasta Internet, propiciando el surgimiento del contenido creado por el usuario. Este término implica que existan mapas creados de la manera tradicional - mediante contribuciones de varios cartógrafos individuales - o con información aportada por el público. En la actualidad, son numerosos los portales que permiten visualizar y consultar mapas de casi todo el mundo.

Enmarcados en el concepto que los GIS manejan datos geográficos, constituidos por dos componentes, una gráfica y la otra alfanumérica, sabemos que cada una de ellas tiene requerimientos propios y especiales en cuanto a la determinación de parámetros de calidad.

Es entonces que la digitalización de la información geográfica ha llevado en muchos casos a un sentimiento de confianza ciega en su bondad, sin cuestionar su verdadera calidad por tratarse de información digital, debido a esto se tendrá en cuenta en el tratamientos de datos geográficos y análisis espaciales propuestos por los GIS la calidad de la información suministrada por los mismos, ya que estará en un todo de acuerdo con la calidad de la base geográfica usada

La calidad de la cartografía, debería reducirse a conceptos y procedimientos basados en la rigurosidad que proveen las bases estadísticas y normalizadas según estándares internacionales como las normas ISO 19100:

19113: principios de calidad
19114: procedimientos de evaluación de calidad
19115: metadatos
19138: medida de calidad de datos.

La IG es información, son datos, por ello desde esta perspectiva se puede considerar que los aspectos fundamentales que definen su calidad, son los exigibles de manera general a cualquier tipo de dato.

- Exactitud: La información debe ser exacta. Los valores almacenados deben ser correctos, es decir, ser representado/presentado de una forma consistente y sin ambigüedades.
- Adecuación temporal: La información a utilizar debe ser del justo instante de tiempo para el que se desea realizar un análisis. Así, por ejemplo, si el análisis se refiere a un instante t del pasado, se requiere la información específica de ese instante t, no valdría la información más actual disponible.
- Relevancia: La información debe ser de valor para el propósito de interés. Los datos no relevantes no aportan información.
- Compleción: La información debe ser completa, sin omisiones ni comisiones de partes de la misma.
- Entendimiento: La información debe ser “entendida”, comprendida de manera adecuada para que su manejo y análisis sea correcto. En este aspecto los metadatos son cruciales.

- Credibilidad: La información, al igual que las personas, tienen una “fama” particular. Si la información no merece confianza, si no tiene credibilidad, ninguno de los resultados obtenidos a partir de ella lo tendrá.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA:

Hoy en día, muchas de nuestras instituciones tanto generadoras como consumidoras del dato geográfico, están exigiendo cada vez más, niveles de calidad en los productos elaborados y solicitados.

Sin embargo, ante la presunción de veracidad de las Bases de Datos Geográficos a usar, aún persiste un acentuado desconocimiento casi total de la calidad de los mismos, lo cual trae aparejado un amplio riesgo de operar sobre ellas a través de análisis espaciales como los modelados cartográficos y obtener por consiguiente información no muy confiable , lo que puede resultar en que se tomen decisiones equivocadas en el análisis de esa información, como por ejemplo en trazados de redes de servicio, emplazamiento de una obra civil, ordenamiento territorial, geo gestión municipal multifinalitaria ,etc.

**Infraestructura de Datos Espaciales - IDES**

En la actualidad el modelo a seguir de la IDES es el nuevo paradigma de los SIG, por lo cual administran datos espaciales en forma distribuida de manera más integrada con su entorno, a nivel mundial, continental, nacional, provincial y regional.

Van a permitir evidenciar las grandes incoherencias existentes entre los diferentes conjuntos de datos geográficos, y además la gran conclusión de esta situación, es que las IDES pueden ser gigantes con pies de barro, debido a que si los datos no inter-operan adecuadamente, haciendo alusión los sistemas de referencia y a la calidad posicional, se puede llegar a una mala toma de decisiones por parte del usuario que haga uso de ella.

**Según la Ley Nacional de Catastro 26.209:**

ARTICULO 1º — “Los catastros de las provincias y de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires son los organismos administradores de los datos correspondientes a objetos territoriales y registros públicos de los datos concernientes a objetos territoriales legales de derecho público y privado de su jurisdicción.

Constituyen un componente fundamental de la infraestructura de datos espaciales del país y forman la base del sistema inmobiliario en los aspectos tributarios, de policía y ordenamiento administrativo del territorio…”

### 2.1 Justificación

La calidad cartográfica es de vital importancia para aquellos que la generan como para los usuarios de las cartografía.

La justificación del presente trabajo final se desarrolla en base a la relevancia teórica y metodológica que tiene el control de calidad posicional cartográfica según lo dispuesto por

normas ISO 19100 apoyado fuertemente en conceptos estadísticos, teniendo en cuenta la finalidad que el mismo persigue.

- ISO 19113: Información Geográfica – Principios de la calidad.
- ISO 19114: Información Geográfica – Procedimientos de evaluación de la calidad.
- ISO 19138: Información Geográfica – Medidas de la calidad.

En la norma ISO 19113 se menciona el estudio de cinco elementos que se deberán tener en cuenta para realizar el control de calidad cartográfica, y son:

| ELEMENTOS DE CALIDAD | SUBELEMENTOS DE CALIDAD |
|---|---|
| **Completitud** | Comisión<br>Omisión |
| **Consistencia Lógica** | Consistencia conceptual<br>Consistencia de dominio<br>Consistencia topológica<br>Consistencia de formato |
| **Exactitud de Posición** | Exactitud absoluta o externa<br>Exactitud relativa o interna<br>Exactitud de posición de datos de celdas |
| **Exactitud Temporal** | Exactitud en la medición del tiempo<br>Consistencia temporal<br>Validez temporal |
| **Exactitud Temática** | Corrección de clasificación<br>Corrección de un atributo no cuantitativo<br>Exactitud de atributo cuantitativo |

## 2.2 Objetivos de Investigación

Objetivo General: Controlar la calidad posicional plani-altimétrica de productos cartográficos, basándose en normas ISO 19100, mediante el uso de métodos de la estadística descriptiva e inferencial.

- Determinar, analizar, y ensayar métodos numéricos propuestos con datos reales para el tratamiento del control de la calidad posicional en la producción cartográfica.
- Establecer la importancia de la calidad posicional en la información geográfica y en especial, en los productos cartográficos.
- Identificar, analizar y comparar los diferentes métodos de evaluación internacionales de control posicional de productos cartográficos, y la categorización de dichos productos en función de los mismos (estándares internacionales).
- Relacionar la calidad posicional en la cartografía con la Infraestructura de Datos Espaciales (IDES) y la Interoperabilidad de sus aspectos.

## 2.3 Hipótesis

La idea fundamental consiste en conocer de cada tipo de capa cartográfica digital, aportadas por la Dirección de Geodesia y Catastro de la provincia de San Juan, su calidad de

posicionamiento, tanto planimétrico (coordenadas X e Y) como altimétrico, en éste último, se denominará en adelante como Z a la coordenada que hace referencia a la altura respecto del nivel medio del mar. Esto será realizado mediante una nube de puntos identificados en la carta, y luego sus homólogos medidos en el terreno como fuente de contrastación.

El contraste de los mencionados parámetros cartográficos se realizará en base a un levantamiento topo-geodésico de gran precisión con la finalidad de obtener las diferencias existentes entre la geometría que modela la cartografía de estudio y la realidad del terreno.

Los datos obtenidos en el levantamiento topo-geodésico se someterán a procesos estadísticos para identificar, minimizar y/o eliminar los errores groseros y sistemáticos cometidos en campaña (procesos que pertenecen al Análisis Exploratorio de Datos Espaciales).

Una vez calculada la calidad de la cartografía, se contrastará con los estándares internacionales que se desarrollarán en el apartado 15.3 Marco Metodológico.

Estos estándares permitirán determinar para qué tipo de aplicación se usará la cartografía de estudio.

# 3. MARCO TEÓRICO

## 3.1 Introducción a las Normas sobre Calidad en Información

“Normalización y calidad van siempre de la mano y por ello es lógico que cuando se desarrolla un grupo de normas específicas para un sector, como es el caso de la familia ISO 19100 para la Información Geográfica (IG), se incluya dentro de las mismas algún documento relativo a la calidad.

En el caso de la familia ISO 19100 las normas que abordan esta temática de una manera específica son:

- ISO 19113: Información Geográfica – Principios de la calidad.
- ISO 19114: Información Geográfica – Procedimientos de evaluación de la calidad.
- ISO 19138: Información Geográfica – Medidas de la calidad.

Estos tres documentos presentan un objetivo común: normalizar los aspectos relativos a la identificación, evaluación y descripción de la calidad de la IG en aras a: dar transparencia y posibilidad de comparación, evitar informaciones ambiguas y facilitar la elección y uso adecuado de los productos.

## 3.2 ISO 19113: Principios de la calidad

El objetivo de esta norma es establecer los principios para describir la calidad de un conjunto de datos, e informar sobre la misma. Por tanto tiene una gran importancia para los productores, que son los que deben generar esta información, pero también para los usuarios, que son los que han de decidir en función de ella.

ISO 19113 establece que la descripción de la calidad de una Base de Datos Geográfica (BDG) puede realizarse mediante:

-<u>Información no cuantitativa de la calidad</u>: Es información de carácter general, de gran interés para conocer el objetivo e historial de una información, así como para considerar otros

posibles usos en aplicaciones distintas a las consideradas comúnmente. Esto se describe mediante los denominados “elementos generales de la calidad” (Data Quality Overview Elements).

-Información cuantitativa de la calidad: Se considera que hay aspectos del comportamiento de una BDG que pueden ser medidos. Esta información se describe mediante los denominados “elementos de la calidad” (Data Quality Elements), que vienen a ser los denominados tradicionalmente como componentes de la calidad del dato geográfico.

**Según ISO 19113 los elementos de la calidad de una Base de Datos Geográficos son:**

-Compleción: Describe los errores de omisión/comisión en los elementos, atributos y relaciones.
-Consistencia lógica: Adherencia a reglas lógicas del modelo, de la estructura de datos, de los atributos y de las relaciones.
-Exactitud posicional: Exactitud alcanzada en la componente posicional de los datos.
-Exactitud temporal: Exactitud alcanzada en la componente temporal de los datos.
-Exactitud temática: Exactitud de los atributos cuantitativos o no cuantitativos y de la corrección de las clasificaciones de los elementos y de sus relaciones.
Para cada uno de los ítems anteriores se establecen subelementos que permiten concretar el aspecto de la calidad al que se refieren los mismos.

Los sub subelementos considerados por la norma son:

- **Compleción**: Comisión y omisión, es decir, la presencia en la BDG de elementos que no deberían estar presentes o la ausencia de otros que si deberían estarlo.

- **Consistencia Lógica:** Consistencia conceptual, de dominio, de formato, topológica. En este caso hay un modelo “lógico” cuyas reglas se violan con: valores fuera de dominio, registros que no se adhieren al formato establecido, o relaciones no consideradas en el modelo o la topología.

- **Exactitud Posicional**: Exactitud externa o absoluta, interna o relativa, exactitud para datos en malla. La exactitud absoluta es la proximidad entre los valores de coordenadas indicados y los valores verdaderos o aceptados como tales. La exactitud relativa se refiere a las posiciones relativas de los objetos de un conjunto de datos y sus respectivas posiciones relativas verdaderas o aceptadas como verdaderas. La exactitud posicional de datos en malla es la proximidad de los valores de posición de los datos en estructura de malla regular a los valores verdaderos o aceptados como verdaderos.

- **Exactitud Temporal:** Exactitud de la medida del tiempo, consistencia temporal, validez temporal. Hace referencia a la corrección de: las referencias temporales asignadas a un elemento (informe del error en la medida del tiempo asignado), los eventos o secuencias ordenadas, si se indican, y a la validez de los datos respecto al tiempo.

- **Exactitud Temática:** Corrección de la clasificación, corrección de los atributos cualitativos, exactitud de los atributos cuantitativos. Por tanto, se observan dos niveles distintos de corrección, el de las clases y el de los atributos, con distinción de si éstos últimos son cualitativos o cuantitativos.

## 3.3 ISO 19114: Procedimientos de evaluación de la calidad.

El objetivo de esta norma es establecer un marco para la evaluación de la calidad y para informar sobre esa evaluación. El productor debe seguir unos procesos de evaluación que han de ser explicados. Junto con las otras normas de la familia, esta información ayuda al usuario a decidir sobre el interés del uso de una Base de Datos Geográfica concreta.

| Pasos del proceso de evaluación de la calidad según ISO 19114 | | |
|---|---|---|
| Paso del proceso | Acción | Descripción |
| 1 | Identificar un elemento, subelemento y ámbito aplicables. | De acuerdo con los requisitos de la Norma ISO 19113, se deben identificar el elemento, subelemento y ámbito de la calidad a evaluar. Esto se repite para todas las diferentes pruebas que sean requeridas por las especificaciones del producto, o los requisitos de usuario. |
| 2 | Identificar una medida de la calidad. | Para cada prueba a desarrollar se debe identificar: una medida de la calidad, el tipo de valor y, si es de aplicación, la unidad de medida. El anexo D de esta norma presenta ejemplos de medidas para los elementos y subelementos dados en la Norma ISO 19113. |
| 3 | Seleccionar y aplicar un método de evaluación de la calidad. | Se debe seleccionar un método adecuado para la evaluación de la calidad para cada medida que se haya identificado. Aquí se establece la relación directa con otras normas como ISO 2859 e ISO 3159. |
| 4 | Determinar el resultado de la calidad de los datos. | El resultado de aplicar el método es: un resultado cuantitativo, un valor o conjunto de valores, una unidad de medida y la fecha de la prueba. |
| 5 | Determinar la conformidad. | Siempre que se haya especificado un nivel de conformidad para la calidad, bien en las especificaciones del producto o en los requisitos de usuario, el resultado de la calidad se compara con aquel para determinar la conformidad. El resultado de la conformidad (cumple/no_cumple) es la comparación del resultado cuantitativo de la calidad con un nivel de conformidad para esta. |

## 3.4 ISO 19138: Medidas de la calidad.

La norma ISO 19138 se propone normalizar las medidas de la calidad a aplicar a la IG, es decir, utilizar un conjunto de medidas que siendo conocidas puedan ser bien y fácilmente interpretadas por las partes (productores y usuarios). La manera de normalizarlas es establecer un conjunto o

selección de ellas y dotarlas de unas especificaciones que las definan de manera inequívoca, a estas especificaciones se las denomina en la norma “componentes técnicos” y son los siguientes:
- Nombre: Es el que se da a la medida. Si ya existe uno asumido es el que se debe usar, en otro caso se ha de proponer uno adecuado.
- Alias: Se refiere a otro nombre o abreviatura reconocidos para la referirse a la medida. Se puede dar más de un alias.
- Elemento de la calidad del dato: El que corresponda según ISO 19113.
- Subelemento de la calidad del dato: El que corresponda según ISO 19113.
- Medida básica: Referencia a la medida básica que es de aplicación en este caso y según son establecidas por esta propia norma.
- Definición: Determina el concepto fundamental de la medida.
- Descripción: Describe la medida y sus métodos de cálculo, incluyendo fórmulas, figuras, definición de los tipos de error en los que se basa, etc.
- Parámetro: Variable auxiliar a utilizar por la medida, se puede incluir nombre, definición, descripción, etc. Puede necesitarse uno o varios (p.e. el parámetro de la tolerancia para los overshoots/undershoots).
- Tipo de valor: Se refiere a la tipología del dato que ha de soportar el resultado (booleano, byte, entero, doble, etc.).
- Estructura: Se refiere a la estructura que debe utilizarse para informar sobre el resultado de la calidad, ésta puede ser un dato único, un vector, una matriz, o cualquier otra.
- Fuente: Referencia o cita a la(s) fuente(s) bibliográfica sobre la medida de la calidad.
- Ejemplo: Ejemplo(s) de aplicación de la medida y de su resultado.
- Identificador: Valor entero que actúa como identificador único de la medida en un sistema de registro como ISO 19135.

No todos estos componentes técnicos son obligatorios, los hay optativos y también condicionados al uso previo de algún otro.”

## 4. MARCO Y SISTEMA DE REFERENCIA

Este ítem resulta de relevante importancia en el tratamiento de observaciones GPS, pues para trabajar en una campaña, es necesario realizar una excelente planificación previa, una posterior bajada de datos y cálculo, lo cual se puede ver seriamente afectado si se desconoce a qué sistema referencia pertenecen las observaciones obtenidas, como también a qué sistema se deben referir y qué proyección cartográfica utilizar.

Teniendo en cuenta cuál es el objetivo general de la presente tesis, solo se hará mención de conceptos sobre sistemas y marcos de referencia que se creen necesarios como respaldo teórico para entender el manejo y funcionamiento de GPS, que será el instrumento a utilizar para medir en campaña.

Se entiende por Sistema de Referencia a una terna de ejes cartesianos, que por ser geodésicos, tiene asociado un Elipsoide de Revolución. Acompaña a la definición de dicha terna de ejes y dimensionamiento del elipsoide, una serie de convenciones y/o parámetros como por ejemplo: masa de la tierra, velocidad de rotación, gravedad en el ecuador, etc. Un ejemplo de ello podría ser el sistema WGS-84 (definido con el advenimiento del GPS). El sistema de referencia en sí, es una definición ideal.

El Marco de Referencia es la materialización del Sistema de Referencia a través de marcas o puntos con coordenadas conocidas y referidas a un sistema determinado. Un ejemplo de ello es

la red POSGAR, que fue declarado por el IGN (Instituto Geográfico Nacional) como el marco oficial de referencia de la república Argentina, esto es entonces la materialización del sistema WGS-84 en nuestro país (Argentina).

## 4.1. Sistema internacional de Referencia Terrestre

Este sistema, conocido como ITRS (International Terrestrial Reference System) fue adoptado por la IUGG (International Union of Geodesy and Geophysics), y cumple con los siguientes requisitos:
-Su origen coincide con el centro de masa de la tierra.
-Su orientación fue definida por el BIH (Bureau International de l´Heure) para el 1 de Enero de 1984.
-La unidad de medida es el metro.

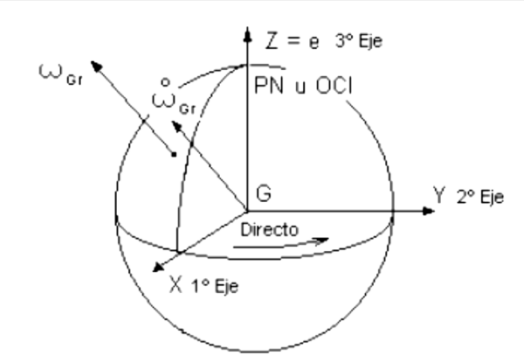



Figura 4.1: ITRS (Sistema de Referencia Terrestre Internacional)

## 4.2. Marco internacional de Referencia Terrestre

La materialización del ITRS es realizada por el IERS (International Earth Rotation Services) a través del ITRF (International Terrestrial Reference Frame), que es una red de referencia formada por distintas estaciones ubicadas en todo el mundo a través de sus coordenadas estimadas, así como de sus respectivas velocidades. La red de ITRF mundial está formada por un conjunto de estaciones de distintas tecnologías, siendo ellas: VLBI (Very Long Baseline Interferometry), SLR (Satellite Laser Ranging), LLR (Lunar Laser Ranging), GPS (Global Positining System), DORIS (Doppler Orbitography and Radio Positioning Intergrated by Satellite).

Es importante remarcar que el ITRS se define de tal modo que garantice su orientación en el tiempo por la condición de no rotación de la red en relación con los movimientos tectónicos sobre toda la tierra desde el punto de vista global.

Una vez materializado el ITRS, las coordenadas que pueden usarse son las coordenadas cartesianas, geográficas, etc.

## Sistema WGS84

Las observaciones GPS utilizan el World Geodesic System como Sistema de Referencia Geocéntrico, definido en 1984. Consiste en un Sistema Cartesiano con origen en el geocentro, fijo respecto del cuerpo físico de la tierra y absoluto por coincidir su centro geométrico con el centro de masas de la tierra, cuyo tercer eje Z o eje polar del sistema se dirige a la posición del

polo medio calculada para la hora 0.00 del 01 de Enero de 1984 y al cual se le asocia un elipsoide de revolución con parámetros geométricos y físicos determinados.

Entre los parámetros geométricos más usados para diferentes cálculos del elipsoide asociado, se pueden mencionar:

Semieje mayor A= 6378137,0000m
Semieje menor B= 6356752,3142m
Aplastamiento 1/f= 1/298,25722356

El posicionamiento en este sistema estará dado por dos tipos de coordenadas, las cartesianas (X, Y, Z) y las geodésicas (L, B, H).

## Marco de Referencia en Argentina - Red Posgar

En el año 1995 el entonces IGMA (Instituto Geográfico Militar Argentino) concretó la construcción de la red Posgar (Posiciones Geodésicas Argentinas).

Originalmente esta red estuvo integrada por 127 puntos. La mayoría de éstos se ubicaron en la intersección de las cadenas geodésicas construidas varios años antes por el IGMA, de modo de aprovechar la monumentación; pero también se construyeron nuevas monumentaciones en aquellos lugares donde la red nacional no llegaba, con la intención de abarcar el territorio de todo el país, incluso alcanzando la vinculación de los mareógrafos de la costa atlántica, Mar del Plata hasta Ushuaia.

La distribución de los puntos de esta red fue tal que, ningún punto de la Argentina quede a más de 200km de algún punto POSGAR. Para seleccionar la ubicación de los mismos, más allá del aprovechamiento de la monumentación y el requerimiento en cuanto a alejamiento, se hicieron otras consideraciones, como las siguientes:

-Que fueran de fácil acceso.-
-Que las monumentaciones fueran estables.-
-Que estuvieran alejados de líneas de alta tensión, microondas, repetidoras, etc.-
-Que las estaciones tuvieran visión limpia al cielo.-

Esta red respecto de la cual, en un principio se creía que no sufriría modificaciones, tuvo una interesante historia respecto al valor de sus coordenadas, razón por la cual, se puede hablar de POSGAR 94, POSGAR 98 y POSGAR 2007.

**POSGAR 94**:

Son las coordenadas que se determinaron originalmente al finalizar el proyecto. Cualquiera de estos puntos contaba en su monografía con coordenadas geodésicas referidas al sistema WGS84. De hecho en Argentina esta red era la materialización del sistema WGS84 y fue declarado marco oficial de referencia por resolución del IGMA.

**POSGAR 98**:

Casi paralelamente al proyecto de la red POSGAR, se llevaba a cabo otro proyecto denominado SIRGAS (Sistema de Referencia Geodésico para América del Sur), cuyo objetivo era la construcción de una red que abarcara todo el territorio de América del Sur y resultase ser la materialización del sistema WGS84 en dicho territorio.

Diez puntos de la red POSGAR fueron usados por la red SIRGAS, mas luego de terminar todas las observaciones, calcular y compensar, ocurrió que esos diez puntos en común, tenían diferentes coordenadas en cada red, siendo que dicho puntos materializaban el mismo sistema.

Fue por ello que, con las coordenadas determinadas en SIRGAS para estos diez puntos, más algunas observaciones complementarias, se recalculó toda la red POSGAR, surgiendo así la red POSGAR 98. En particular esta nueva red no fue adoptada como marco oficial de referencia, pero pese a ello, algunas provincias hicieron el cambio de coordenadas, por entender que era una materialización más genuina del sistema WGS84.

**POSGAR 2007**:

La red SIRGAS fue vinculada a puntos del ITRF 2005, lo que implicó la modificación de las coordenadas, y a su vez, incidió sobre los puntos en común de la red POSGAR, la cual, a esa altura ya estaba ligada a la red de Estaciones Permanentes GNSS, por esto se procedió a realizar un nuevo recalculo, donde el producto final es la denominada red POSGAR 2007. Éste es declarado marco de referencia oficial para la República Argentina.

Se entiende entonces que, ésta red siempre fue la materialización del sistema WGS84 en la Argentina, pero cada vez con mayor precisión.

Se entiende por estaciones permanentes a las diversas estaciones GPS que realizan observaciones durante las 24 hs del día. Los archivos de observación son bajados a la página oficial del IGN (www.ign.gob.ar) y desde allí cualquier usuario puede recurrir a bajarlas desde su PC y vincular su relevamiento GPS.

El origen de esta red responde a otro proyecto que fue emprendido hace varios años por el IGN denominado proyecto RAMSAC (Red Argentina de Monitoreo Satelital Continuo). El objetivo principal de dicho proyecto era la obtención precisa y continua de coordenadas de las estaciones a fin de estudiar el movimiento tectónico. Con el pasar de los años, los catastros y universidades vieron la importancia y ventajas de contar con estaciones de este tipo, por lo que se abocaron a su implementación.

La provincia de San Juan cuenta con cuatro estaciones, denominadas RODE (Iglesia), JCHL (Jáchal), DINO (Valle Fértil), OAFA (Chimbas), UNSJ (Rivadavia), GRLS (Caucete), CSLO (Calingasta), CSJ1 (Sarmiento).

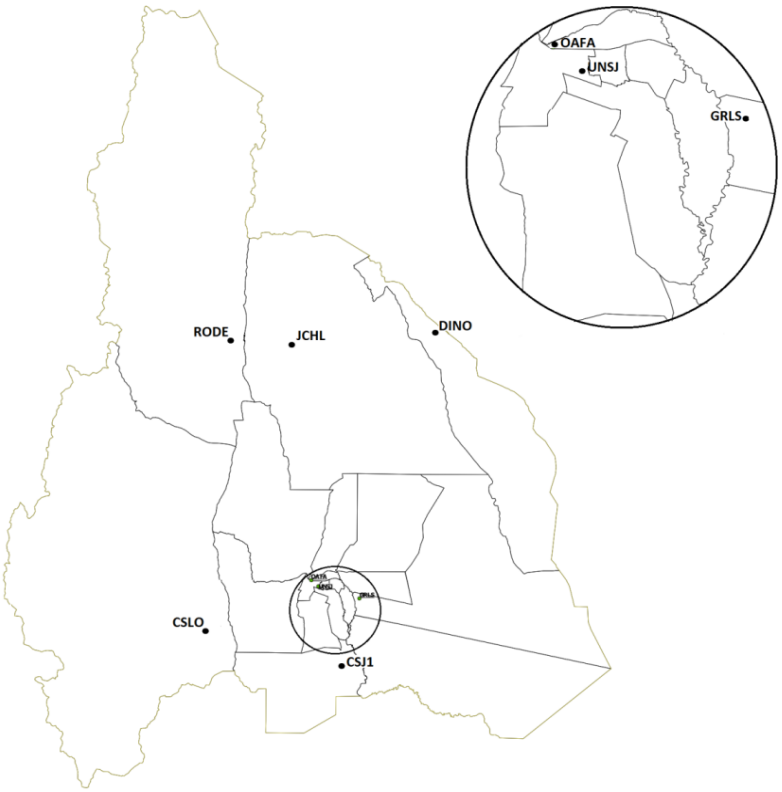



Figura 4.2

Entre los beneficios que brindan las estaciones permanentes a la agrimensura, se encuentra la posibilidad de vincular los relevamientos hechos con GPS directamente al marco oficial POSGAR 2007, debe tenerse en cuenta que, incluso se puede medir con un solo receptor, usando como base una o varias estaciones permanentes.

## 4.3. Sistema de altura

Los métodos tradicionales para determinar las alturas sobre el nivel medio del mar son la nivelación geométrica, con precisión de unos pocos centímetros, la nivelación trigonométrica, con precisión de algunos decímetros y la nivelación barométrica, con precisión de un metro o más.

La geodesia satelital ofrece una alternativa interesante para la solución de este problema. Solo basta disponer de un punto de apoyo con coordenadas geodésicas latitud, longitud y cota referidas al sistema geodésico geocéntrico absoluto WGS'84 y su correspondiente altura sobre el nivel medio del mar, H.

Una determinación GPS en modo diferencial estático, permite hallar la altura sobre el nivel medio del mar de la estación remota, sin conocer la ondulación del geoide, con precisiones compatibles con las de la nivelación trigonométrica.

La nivelación en topografía es un proceso de medición de elevaciones o altitudes de puntos sobre la superficie de la Tierra, dichas altitudes se miden a lo largo de una línea vertical que sigue la dirección de la gravedad o dirección de la plomada.

Teniendo en cuenta el trabajo desarrollado en esta tesis, se definirán las siguientes superficies de referencias:

Superficie de referencia: ecuación matemática conocida que se asemeja de la mejor manera posible a la forma de la tierra.

- Geoide: es la superficie que mejor se ajusta al nivel medio del mar, definido éste por las aguas en reposo que se extienden por debajo de los continentes.

- Elipsoide de revolución: debido a que el geoide tiene una ecuación matemática formada por una serie de término que la hacen poco práctica, se reemplaza éste, por el elipsoide de revolución (terrestre) para poder realizar de manera más sencilla el cálculo geodésico.

Altura o Cota de un punto: Es la distancia vertical orientada entre la superficie de referencia adoptada y el punto.

- Cota Ortométrica (H): Distancia medida sobre la línea de fuerza del topocentro contada positivamente desde su proyección sobre el Geoide hasta el mismo. Estas alturas son afectadas levemente por el conocimiento imperfecto de la variación de la densidad en el interior de la tierra.

- Cota Elipsoidal (h): Representa la separación entre la superficie topográfica terrestre y la superficie del elipsoide, y se mide por la normal al elipsoide asignándose la letra h para su denominación. Ésta es calculada a partir de coordenadas geocéntricas cartesianas definidas sobre un elipsoide de referencia.

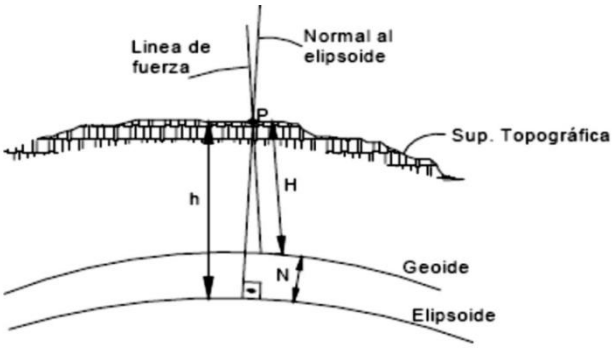



Figura 4.3

**N = h – H** Siendo N la ondulación del geoide

Basando la teoría en la zona de trabajo (Valle de Tulúm), se tendrá en cuenta que la ondulación del geoide en la misma es muy pequeña, por lo que se infiere que las alturas sobre el nivel medio del mar se consideran como desniveles ortométricos.

Un desnivel ortométrico es el que se obtiene al sumar el desnivel observado con el valor de la corrección ortométrica, siendo esta última la diferencia de cotas ortométricas que existen entre dos puntos que pertenecen a una misma superficie equipotencial.

Luego, por ser una zona relativamente plana, la corrección ortométrica es muy pequeña, resultando los desniveles ortométricos prácticamente iguales a los desniveles observados.

## 5. SISTEMA GLOBAL DE NAVEGACIÓN SATELITAL: GNSS

El sistema GPS (Global Position System) fue creado con fines militares por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos. El objetivo pretendido era desarrollar un sistema satelital que permita posicionar un determinado objeto en forma precisa en cualquier lugar del mundo, bajo cualquier condición climática y a cualquier hora del día.

En 1993 el sistema se declara completamente operacional, tanto para uso militar como para uso civil, reservándose para los primeros el uso del código P, asegurando en cualquier punto de la Tierra y a cualquier hora, una constelación con más de 4 satélites y un PDOP (Dilución de Precisión) menor de 4; siempre pensando en puntos a cielo abierto, es decir sin obstrucciones.

En la actualidad, conviven varios sistemas de posicionamiento satelital junto al anteriormente nombrado GPS, éstos son: GLONASS (Federación Rusa), GALILEO (Comunidad Europea), BEIDOU COMPASS (República Popular China; originalmente cubriría su territorio y luego global), QZSS (Quasi-Zenith Salellite System – Japón) y el IRNSS (Indian Regional Navigation Sallite System– India). En general todos se apoyan en los mismos principios básicos de funcionamiento, pero con ciertas diferencias en algunos aspectos geométricos y físicos.

Tal es así, que por el hecho de la convivencia de los diferentes sistemas de posicionamiento satelital, hoy en día se hace referencia a un nuevo concepto, abreviado por la sigla “GNSS” (Global Navigation Satellite System).

## Sistema de Posicionamiento Satelital - GPS:

El sistema GPS está compuesto por tres partes llamadas: segmentos, componentes o módulos.

### Segmento espacial

Integrado por más de treinta satélites, distribuidos en seis órbitas, separadas sobre el Ecuador cada 60°, con una inclinación del plano de órbita de 55°.
El periodo orbital equivale a medio día sidéreo (23 hs 56 m), con una altura aproximada de 20000 km.

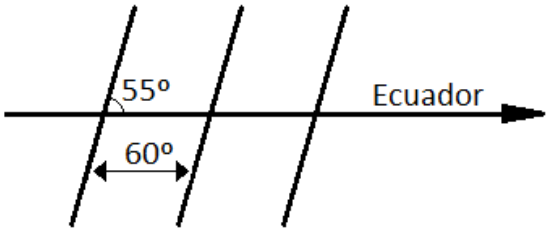



Figura 5.1

### Segmento de control

Consiste en estaciones terrestres que monitorean las posiciones de todos los satélites GPS y transmiten a cada uno de éstos: las efemérides actualizadas (calculadas a partir de la verdadera órbita que el satélite sigue y extrapoladas hacia el futuro), error de reloj, correcciones, estado del satélite, etc.

Se caracterizan por estar implantadas en puntos ubicados en latitudes bajas, es decir cercanas al Ecuador.
Inicialmente se contaba con cinco estaciones de rastreo, ubicadas en Colorado Springs, Isla Ascensión, Isla Diego García, Kwajalein y Hawai.

Actualmente se habla de la existencia de más de diez estaciones de rastreo, incluso, una de ellas estaría emplazada en la provincia de Buenos Aires- Argentina.

Entre las nuevas, se mencionan: Snaithfield- Australia, Hermitage-Inglaterra, Baherim- Golfo Persico, Quito- Ecuador.

Dichas estaciones, están equipadas con receptores de doble frecuencia, con osciladores de cesio, y cumplen con la función de recolectar señales GPS, datos que envían a la estación maestra, ubicada en Colorado Springs.

La estación maestra o central de control recalcula efemérides, comportamiento de los relojes, etc. Esta información es enviada a antenas terrestres y a las estaciones Isla Ascensión, Isla Diego García y Kwajalein, que a su vez retransmiten a cada uno de los satélites, y finalmente los satélites a los receptores.

### Segmento de usuario

Concretamente son los receptores que calculan la posición del usuario por medio de señales recibidas. Se clasifica a los usuarios en categoría militar y civil.

## 5.1. Estructura de la señal GPS / GNSS

Los satélites generan una señal de radiofrecuencia perteneciente al espectro electromagnético denominado Banda L. Esta banda de radiofrecuencia se extiende desde los 390 MHz hasta los 1550 MHz, que se caracterizan por ser señales de propagación lineal, pero también son muy susceptibles al efecto de reflexión por múltiples caminos.

Los satélites GPS cuentan con un generador de frecuencia a bordo. Este a partir de los patrones de oscilación de los relojes atómicos genera una frecuencia denominada, frecuencia fundamental (fo), equivalente a 10,23 MHz.

Se generan entonces las portadoras L1 y L2 que son ondas senoidales, a las que se le insertan el Código C/A, el Código P y el Mensaje de Navegación por medio de moduladores. El Código C/A es un código binario cuya frecuencia es la décima parte de la fundamental, luego el Código P modula con la misma frecuencia que la fundamental.

El Mensaje de Navegación lo hace con una frecuencia de 50Hz.

**Esquema de la estructura de la señal GPS / GNSS**

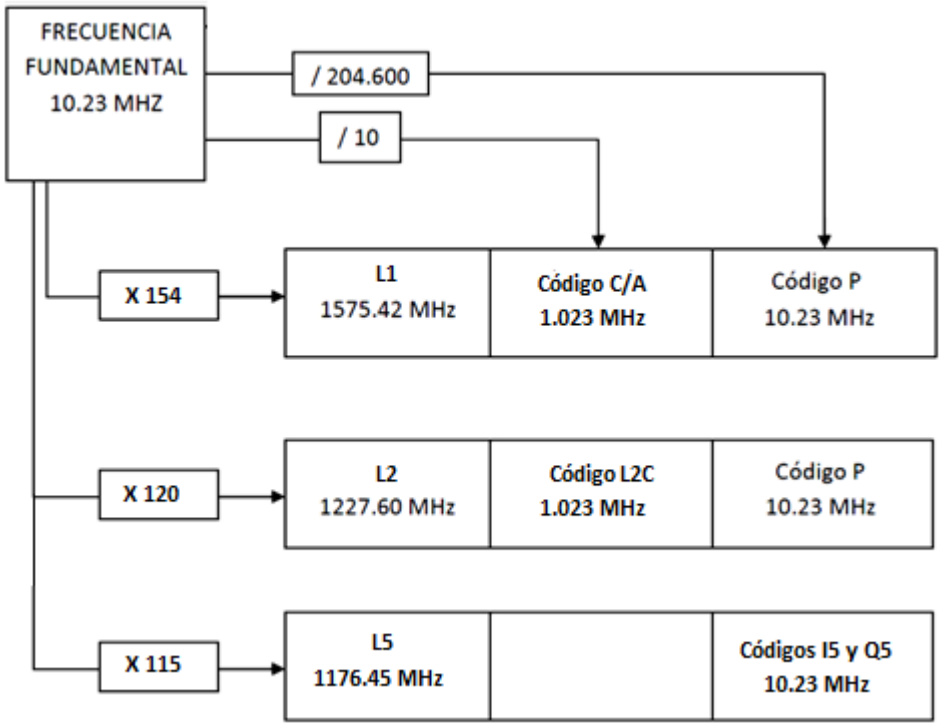



Figura 5.2

**L1**: señal primaria generada desde los satélites de la constelación NAVSTAR, con una frecuencia de 1575,42 MHz. Los receptores capaces de captar solamente esta frecuencia se denominan receptores de monofrecuencia.

**L2**: Señal secundaria generada desde los satélites de las constelación NAVSTAR, con una frecuencia de 1227,60 MHz. Los receptores que captan las dos frecuencias se denominan receptores de doble frecuencia. La ventaja adicional de ésto, es permitir la medición de vectores muy largos. Mediante una combinación lineal de L1 y L2, con la que es posible eliminar el efecto ionosférico.

**L5**: Señal que se encuentra operativa a partir del año 2012, en la que al igual que L2C y L1C se transmitirá a una potencia mayor cuando arribe a la superficie terrestre, lo que representará una mejora a nivel de recepción de la señal evitando inferencias sobre todo ambientales.

**Código C/A**: Código de adquisición rápida o gruesa. Tiene una frecuencia de 1,023 MHz. Se caracteriza por contener en ellos un ruido pseudoaleatorio (PRN) que se repite cada milisegundo. Todos los receptores captan esta señal, que permiten calcular la posición de la estación y mostrarla en el display. Los receptores que solo captan esta señal y no las frecuencias L1 y L2 son los conocidos navegadores de mano.

**Código P**: Código Preciso. Restringido a uso militar. Tiene una frecuencia de 10,23 MHz, igual a la frecuencia fundamental (fo). Se caracteriza por contener en ellos un ruido pseudoaleatorio (PRN) que se repite aproximadamente cada 266,4 días.

## 5.2. Principios básicos de GPS / GNSS

Se interpreta como una intersección hacia adelante desde los satélites, cuyas coordenadas son conocidas.

Para resolver dicha intersección, se mide la distancia satélite receptor usando el tiempo de vuelo del mensaje de radio enviado por el satélite. Conocida la distancia, se necesita conocer la posición del satélite, que es transmitida permanentemente por éste a través del mensaje de navegación (efemérides transmitidas).

Debe considerarse el hecho de que la señal atraviesa la ionosfera y la troposfera, ambas capas de la atmósfera, respecto de las cuales fundamentalmente debe considerarse el retardo de la señal que produce la ionosfera.

### Principio geométrico para la determinación de la posición de un punto

Teniendo en cuenta que, la posición de un punto se determina mediante la medición de la distancia a un grupo de satélites.

Se supone que un receptor en la Tierra capta la señal de un primer satélite determinando la distancia entre ambos. Esto indica que el receptor puede estar ubicado en un punto cualquiera dentro de la superficie de una esfera de radio R1 tal y como se muestra en la figura.

Si se mide la distancia de un segundo satélite al mismo receptor se generará una superficie esférica de radio R2, que al intersecarse con la primera esfera se formará un círculo en cuyo perímetro pudiera estar ubicado el punto a medir.

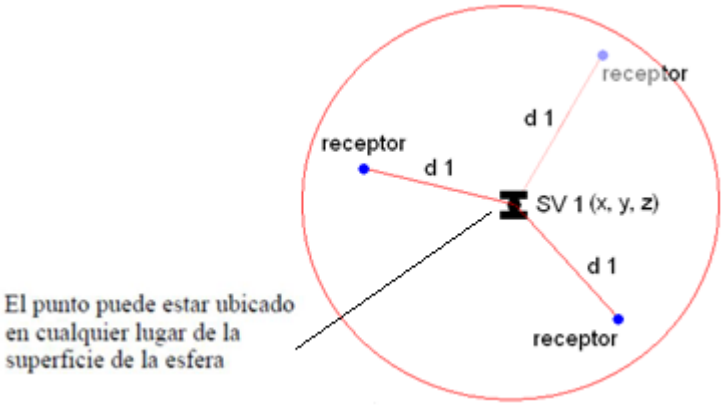



Figura 5.3

Si se agrega una tercera medición, la intersección de la nueva esfera con las dos anteriores se reduce a dos puntos sobre el perímetro del círculo descrito.

Uno de estos dos puntos puede ser descartado por ser una respuesta incorrecta, bien sea por estar fuera de espacio o por moverse a una velocidad muy elevada.

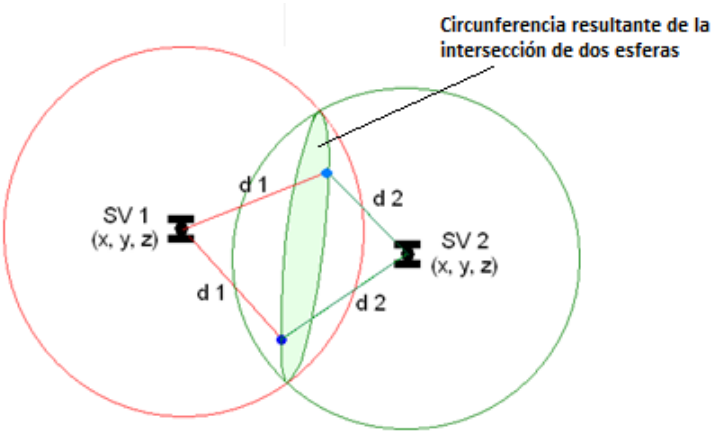



Figura 5.4

Esto puede expresarse perfectamente en forma matemática:

$$d_1 = c\Delta t_1 = \sqrt{(X_{SV1} - X_R)^2 + (Y_{SV1} - Y_R)^2 + (Z_{SV1} - Z_R)^2} \qquad [1.27]$$

$$d_2 = c\Delta t_2 = \sqrt{(X_{SV2} - X_R)^2 + (Y_{SV2} - Y_R)^2 + (Z_{SV2} - Z_R)^2} \qquad [1.28]$$

$$d_3 = c\Delta t_3 = \sqrt{(X_{SV3} - X_R)^2 + (Y_{SV3} - Y_R)^2 + (Z_{SV3} - Z_R)^2} \qquad [1.29]$$

Resulta así un sistema de tres ecuaciones con tres incógnitas, X Y Z del receptor, lo cual tiene solución.

Con esto, se puede decir que bastarían tres satélites para posicionar un topocentro, no obstante debido a que los relojes de los receptores son de cuarzo y los de los satélites son atómicos se genera un desfase de la onda, produciendo un error denominado error de correlación, por lo que el sistema no tiene solución, surgiendo de esta manera una cuarta incógnita, lo que en la práctica equivaldría a observar un cuarto satélite para crear una cuarta ecuación, y de ésta manera calcular la distancia.

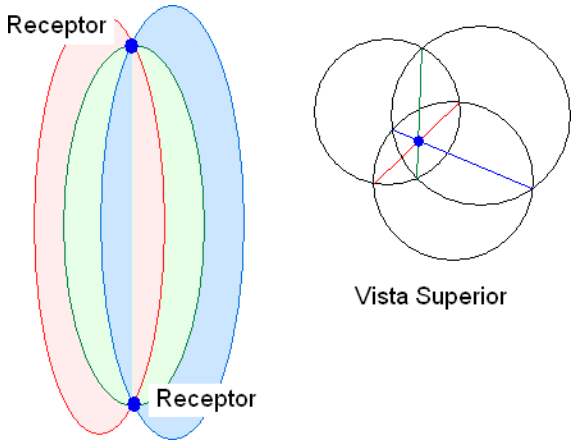



Figura 5.5

$$d_1 = c\,(Vt_1 + \varepsilon_R) = \sqrt{(X_{SV1} - X_R)^2 + (Y_{SV1} - Y_R)^2 + (Z_{SV1} - Z_R)^2}$$

$$d_2 = c\,(Vt_1 + \varepsilon_R) = \sqrt{(X_{SV2} - X_R)^2 + (Y_{SV2} - Y_R)^2 + (Z_{SV2} - Z_R)^2}$$

$$d_3 = c\,(Vt_3 + \varepsilon_R) = \sqrt{(X_{SV3} - X_R)^2 + (Y_{SV3} - Y_R)^2 + (Z_{SV3} - Z_R)^2}$$

$$d_4 = c\,(Vt_4 + \varepsilon_R) = \sqrt{(X_{SV4} - X_R)^2 + (Y_{SV4} - Y_R)^2 + (Z_{SV4} - Z_R)^2}$$

Ecuación Fundamental de GPS.

## 6. POSICIONAMIENTO RELATIVO

Tipos de Errores

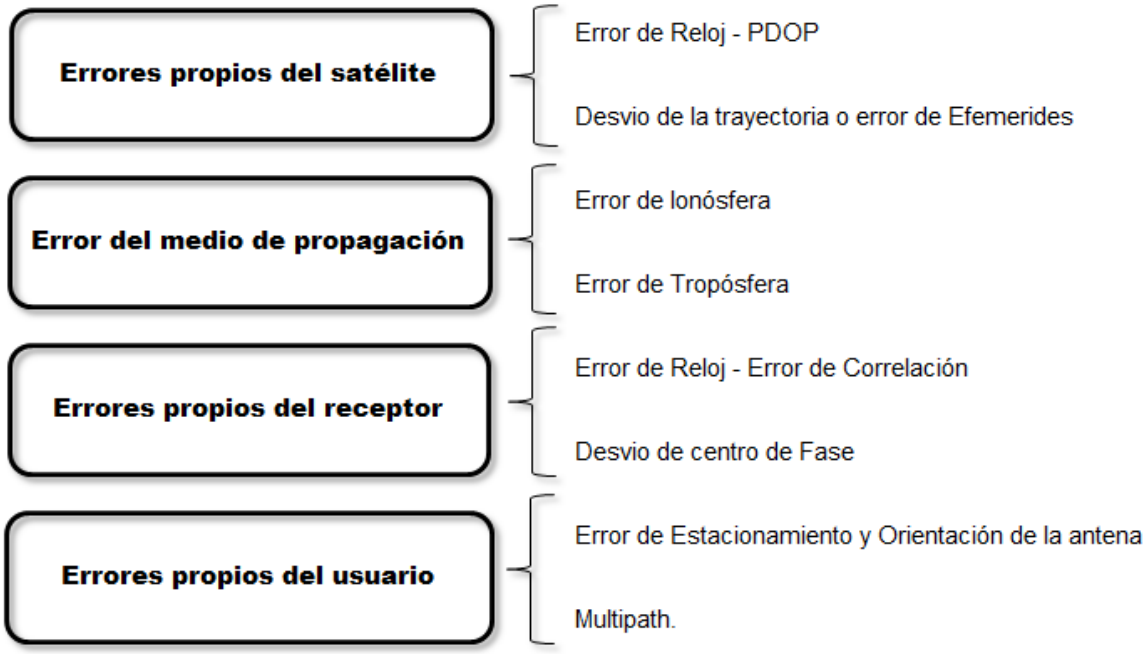



Figura 6.1

- Errores de reloj de los satélites y de los receptores: deberá considerarse el desfase entre los errores de los satélites además del error de los relojes de los receptores. La influencia de la falta de sincronización de relojes queda eliminada con las simples y dobles diferencias de fase.

- Efecto de ionosfera y troposfera: la ionosfera produce un importante impacto sobre la señal GPS; dobla, refleja y atenúa las ondas de radio, produciendo retardo para códigos y adelanto para las portadoras L1 y L2. Este retardo es directamente proporcional al contenido de electrones del espacio atravesado por la señal y es inversamente proporcional al cuadrado de

su frecuencia. Ambos quedan eliminados desde el momento que se asume que la influencia de estos efectos es idéntica sobre los dos receptores.

Sin embargo, cuando la distancia supera los 20 km, para algunos 30km, ya no se garantiza que la señal que llega a uno y otro receptor atraviese la misma concentración de iones, lo que implica distinta influencia en cada receptor. Para salvar este efecto diferenciado es que se recurre a receptores de doble frecuencia, es decir aquellos que guardan fase de L1 y L2.

Durante el procesamiento, haciendo combinación de ambas frecuencias es posible determinar la influencia de la ionosfera y por ende corregirla. Es aquí donde radica la ventaja de los receptores doble frecuencia, que en definitiva permiten medir distancias muy largas, por ejemplo del orden de 200 km como en el caso de la red POSGAR.

En cuanto a la influencia de la troposfera para el caso de distancias largas, se salvará introduciendo valores de presión, humedad, temperatura que deberán ser tomados durante el momento de la observación.

-Error de efemérides transmitidas: definidas como la posición instante a instante de un satélite que viaja en el espacio (independientemente del tipo de coordenadas usadas a tal fin), éstas quedan eliminados desde el momento que se asume que la influencia de este efecto es idéntico sobre los dos receptores. Sin embargo, para determinaciones de altísima precisión, se puede recurrir al uso de efemérides precisas. Estas son las verdaderas trayectorias que siguieron los satélites al momento de la observación. Las mismas resultan del seguimiento continuo de cada satélite desde las estaciones de control, donde mediante un complejo proceso matemático se permite obtener posiciones muy próximas a las verdaderas trayectorias, las mismas toman mayor precisión a medida que transcurre el tiempo hasta lograr las exactas, recién al cabo de 18 días es posible contar con posiciones muy próximas a las verdaderas trayectorias o al cabo de 30 días con posiciones exactas, las que se publican en internet periódicamente y cualquier usuario puede acudir a ellas en forma gratuita.

-Efecto multipath: los satélites generan una señal de radio frecuencia pertenecientes al espectro electromagnético denominado banda L, que se caracteriza por ser una señal directa o de propagación lineal, pero también muy susceptible al efecto del multipath o múltiples caminos. Es decir, que cualquier obstáculo cercano al receptor, como un edificio provocará un rebote en la señal enviada desde el satélite que pasa, entonces dicho receptor recibirá la señal directa y la que fue rebotada, por lo tanto cuando realice la correlación, lo hará con ésta última midiendo tiempo de más, lo que se traduce en un error en la determinación de la distancia y consecuentemente en la posición. Este efecto no se elimina por el proceso diferencial ya que depende del entorno de cada punto, luego, deberá tenerse cuidado con la elección de los puntos de estación.

- Error de estacionamiento: es de fundamental importancia el estacionamiento de la antena, debe pensarse el trípode con base nivelante y plomada óptica, lo que garantiza el correcto centrado y verticalización de la antena respecto del topocentro. También es de fundamental importancia tomar la altura de antena de todas las estaciones GPS.

- Error de desvío del centro de fase de la antena: la influencia de este error depende en mayor o menor medida del modelo de antena, debido a que el centro electrónico o de fase en la antena no coincide con su baricentro o centro físico como podría creerse, sino que está trasladado respecto de éste, incluso en altura. Es por esto que en el momento del

procesamiento se debe especificar que modelo de antena se utilizó. Es te error es salvable al orientar hacia el norte la antena.

- Factor de la dilución de la precisión en el posicionamiento (PDOP): básicamente no es un error, pero se menciona en este apartado, pues su consideración ayuda a mejorar la precisión de una medición. Teniendo en cuenta que el principio del posicionamiento con GPS equivale a una intersección a un punto fijo desde los satélites, luego, la geometría de la posición de los satélites influye en dicho posicionamiento, pudiendo debilitar su precisión. El factor DOP es concretamente un número, cuyo valor es inversamente proporcional al volumen del poliedro que los satélites forman junto al receptor. Mientras más grande es el volumen, menor es el DOP y ello indica mejor configuración en ese momento.

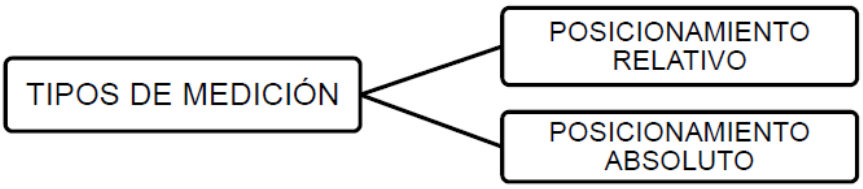



Figura 6.2

## 6.1. Principios del posicionamiento absoluto

Rige el principio básico de GPS, también denominado principio de pseudorange. Mide con el Código P para receptores de uso militar y con el Código CA para receptores de uso civil. Brinda posiciones en forma instantánea, no requiere pos-procesamiento, pero tal como se comentó, para uso civil la precisión es del orden de los 10m.

## 6.2. Principios del posicionamiento relativo

Con la intención de eliminar la influencia de los errores anteriormente descritos es que surge el posicionamiento relativo. Ello consiste en realizar observaciones simultáneas con dos o más receptores GPS y luego someter los archivos generados a un procesamiento. Básicamente la idea es suponer que el efecto ionosfera, troposfera y error de efemérides actúan con igual magnitud y sentido en la toma de ambas posiciones para cada instante, por lo que si a posterior se cruzasen observaciones realizadas en el mismo instante tomada por cada receptor, se obtendrían varias medidas del vector que unen ambas estaciones, las que finalmente se podrán promediar y definitivamente obtener la distancia entre receptores con muy buena precisión. Sucede que en realidad la operación es mucho más compleja que un simple promedio. Debido a que se utilizaran los observables de fase de L1 y/o L2 el problema se resolverá matemáticamente con la estrategia conocida como simple, doble y triples diferencia de fase.

## 7. SIMPLES, DOBLES Y TRIPLES DIFERENCIAS DE FASE

La señal emitida por el satélite consiste en una serie de ciclos que se cuentan desde que el receptor capta la misma, la fracción de ciclo que existe desde que dicha señal sale del satélite hasta que llega al receptor es desconocida y se denomina ambigüedad.

Para poder salvar esta situación, existe un procedimiento matemático iterativo conocido como simples, dobles y triples diferencias de fases, a través del cual se eliminan también los errores de reloj de los receptores y de los satélites (entre otros), el objetivo final de este proceso es la eliminación de ambigüedad que para un mismo satélite, en diferentes instantes, es la misma.

En la simple y doble diferencia de fase se procede a eliminar los errores de reloj tanto del satélite como del receptor para un mismo instante. En la triple diferencia de fase se logra eliminar la ambigüedad que define la fracción de ciclo que se desconoce, la cual un mismo satélite en diferentes instantes es la misma (salvo que se pierda la señal).

Si en este proceso se elimina la ambigüedad se considera que la solución obtenida es fija, caso contrario dicha solución será flotante.

## 8. TÉCNIAS DE MEDICIÓN

Como es sabido el objetivo principal de las mediciones GPS es encontrar las coordenadas de un punto, ya sea de modo autónomo o absoluto en el cual las coordenadas asignadas a dicho punto son instantáneas y no requieren post-procesamiento alguno, o de modo relativo donde no se obtienen las coordenadas del punto, sino la componentes y el módulo del vector entre dos estaciones, y para obtener las coordenadas del punto incógnita es necesario contar con un punto de coordenadas conocidas, donde este será una de las estaciones.

Dentro del campo de las mediciones relativas o diferenciales existen varias técnicas para efectuar mediciones con GPS. Estas, están íntimamente relacionadas con las precisiones que se pretenden obtener y con el tiempo y la cantidad de equipos con que se cuenta.

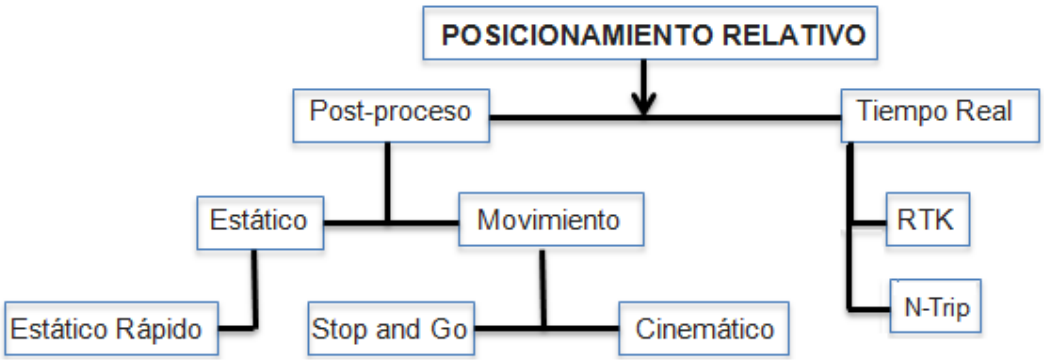



Figura 8.1

## 8.1. Estático

Se llama así porque los receptores ocupan las estaciones por sesiones prolongadas. Generalmente se coloca un receptor en un punto de coordenadas conocidas, los otros en posiciones desconocidas. Se aplican en distancias largas o proyectos de densificación donde otros métodos no son posibles, concretamente en los casos donde se necesitan precisiones de pocas partes por millón, en horizontal 5mm + 2ppm para distancias de hasta 20 km; de 5 mm +1 ppm para distancias de hasta 50 km y en vertical 1.5 veces menor que en la precisión en horizontal.

## 8.2. Estático Rápido

Esta técnica en la práctica es idéntica al estático pero las sesiones son muchos más cortas, específicamente del orden de los veinte minutos para líneas de 5 km, aumentando dos minutos por cada km adicional. Se debe contar con receptores de doble frecuencia.

Su principal virtud es la densificación rápida de grandes zonas.

## 8.3. Cinemático

También llamado dinámico. Esta técnica implica uno o varios receptores en movimiento. Mientras al menos uno se estaciona en un punto fijo de coordenadas conocidas, el o los otros receptores se desplazan punto a punto haciendo estación durante uno o dos minutos.

## 8.4. Stop And Go

Se puede interpretar como una combinación de los métodos estáticos y cinemático.

Es similar al cinemático en relación a las campañas y similar al estático por cuanto se hace estación en los puntos desconocidos por sesiones del orden de cinco a diez minutos y no de uno o dos minutos como en el cinemático puro.

## 8.5. Navegación Precisa a tiempo Real RTK

Se trata de un receptor que está navegando y otro se encuentra en un punto fijo de coordenadas conocidas.

La idea se basa primeramente en que, se asume como siempre que los errores en el posicionamiento en los dos receptores tiene igual magnitud y sentido (siempre que su separación no supere 10 km), mas luego, con un accesorio que no es ni más ni menos que una radio en cada receptor que permita su comunicación y con un soft que permita realizar los cálculos necesarios, el receptor que navega muestra en su display las coordenadas definitivas con muy buena precisión. Solo hay que introducir al receptor base las coordenadas del punto fijo.

Su mayor virtud es que navega con diferencias de fase y a tiempo real (no requiere pos procesamiento). El resultado es una posición exacta al instante, el receptor resuelve en forma instantánea las ambigüedades que van cambiando como consecuencia del movimiento.

Como técnica es sumamente apta para densificación, o cualquier tipo de levantamiento topográfico.

## 8.6. Campaña GPS / GNSS

El éxito de las observaciones GPS está sometido a una rigurosa planificación previa y su cumplimiento en el campo.

La planificación se lleva a cabo a partir de la búsqueda de información en cartografía y puntos de apoyo, sitios preliminares, reconocimiento del terreno, monumentación y sesiones.

Búsqueda de información en cartografía: uno de los primeros pasos consistirá en obtener la mejor cartografía disponible de la zona de trabajo, tanto con objeto de obtener coordenadas aproximadas de los puntos para la planificación de las sesiones, como también para estudiar las características del área donde se realizará el proyecto. En otras ocasiones resultará de ayuda también contar con fotografías aéreas, imágenes satelitales, para planificar el acceso y el desplazamiento.

Búsqueda de información de los puntos de apoyo: el objeto de este paso es buscar las monografías de los puntos de redes existentes tanto locales (SICAT) como nacionales (PASMA) o bien apoyarse en las estaciones permanentes (como por ejemplo UNSJ, CSLO, UCOR, etc.) cuya información se encontrará en la página del IGN. Es de suma importancia tener en claro en qué sistema de referencia están expresados, la información con la que cuentan y qué precisión se puede esperar de ella.

Sitios preliminares: se ubica en la cartografía los sitios tentativos para emplazar los puntos a relevar o puntos de la red a ejecutar. Estos deben tener un horizonte despejado, al menos por encima de unos 15 o 20 grados, estar libres de objetos cercanos que puedan afectar la señal y en lo posible ser de fácil acceso.

Reconocimiento del terreno: esta es una etapa conveniente de hacer si la zona de trabajo es cercana. Se realizará una visita al terrenos en el que se determinará, la existencia real de los puntos de apoyo y forma de acceder a ellos, la ubicación definitiva de los puntos para que tengan un horizonte despejado, que sean accesibles y que no hayan objetos que puedan perturbar la señal, despejar y preparar el terreno para su ocupación en el relevamiento, realizar una monografía detallada del punto.

En ciertos casos será necesario una hoja de ruta donde consten los puntos a relevar, calidad de los caminos, tiempos de recorrido, lugares para abastecimiento de combustible, alojamiento, energía eléctrica, etc.

Esta etapa es adecuada para asignar a cada punto una identificación clara y única que se usará durante todo el proyecto y que será fundamental en el momento del procesamiento.

Monumentación: consiste en materializar en forma estable y perdurable los puntos a utilizar en el relevamiento, este es un procedimiento que no siempre se lleva a cabo debido a que la relación costo-beneficio no es muy favorable. En la mayoría de las ocasiones se procede utilizando las marcas existentes en el terreno.

Sesiones: conceptualmente, se define el término sesión como el periodo durante el cual dos o más receptores realizan observaciones simultáneamente, comenzando cuando se encienden los equipos y terminando cuando se apagan. El tiempo de una sesión depende fundamentalmente de la longitud de la línea base y del método elegido para medir, es por ello que esta etapa se torna de suma importancia ya que se calculará el tiempo de la sesión dependiendo de la distancia obtenida de la cartografía, además se deben coordinar los tiempos de acuerdo con la cantidad de receptores con los que se cuente y configurar los mismos.

La configuración consiste en determinar el ángulo de máscara, intervalo de bajada de dato y controlar de la capacidad de memoria del receptor.

También es muy importante la designación de las diferentes sesiones para que no haya confusión de las mismas.

En la planificación de las sesiones debe considerarse el tiempo necesario para que los equipos de trabajo levanten la estación actual, se desplacen a la siguiente, la ocupen y arranque cuidadosamente la nueva sesión.

Es importante recordar que las observaciones no simultáneas son observaciones perdidas.

Como parte importante de la planificación, es necesario el control previo del equipamiento a utilizar, en cuanto a estado, componentes (cables, baterias, etc), configuración, cintas, bastones, bases nivelantes, y cualquier otra accesorio que sea de utilidad en el momento de ejecución de la campaña.

En general en cualquier campaña se deben tener en cuenta algunas consideraciones comunes:

Ser muy riguroso con el horario de sesión programado, tanto en el inicio como en el cierre.

Realizar los recorridos de los puntos tal como fue establecido, de lo contrario se corre el riesgo de romper alguna de las figuras diseñadas.

Anotación del nombre del punto, sesión, altura de antena, nombre del operador, número de receptor.

Estacionamiento correcto de las antenas sobre el punto.

Controlar cada determinado periodo que el receptor esté encendido y tomando datos.

En caso de cinemáticos mantener la altura de antena constante.

Finalmente el procesamiento de los datos cuenta con dos partes, la bajada de los datos y el manejo de los mismos.

El primer paso se realiza con el software aportado por los fabricantes de los receptores, los cuales manejan un lenguaje propio llamado nativo y uno universal llamado rinex, hay que tener en claro que por cada observación se generan dos archivos; navegación y observación.

El de navegación contiene la posición de los satélites en el momento de la observación y son obtenidos por el receptor mediante el mensaje de navegación. En tal caso la posición viene dada por los parámetros orbitales que le permiten al receptor calcular las coordenadas cartesianas.

El archivo de observación se genera mientras el receptor está encendido, se guardan los observables que el receptor es capaz de entender (código A, L1 y L2).

La otra etapa es la referida al manejo de los datos la cual dependerá de la técnica de medición utilizada, de la cantidad de puntos fijos con los que se cuente y del software que se utilice. Se indicará cuál/es son los puntos fijos y se introducirán sus coordenadas; y aquí se debe prestar especial atención al sistema de referencia para el cálculo, porque el mismo debe elegirse acorde al tipo de coordenadas que tengan los puntos fijos, o de lo contrario realizar las transformaciones necesarias con anticipación.

Habrá que introducir altura y tipo de antena para cada estación y revisar los nombres asignados por cada archivo en cada estación. En cuanto a la altura de antena, debe considerarse el hecho de que hay receptores que permiten en campaña introducir este valor durante el momento de la observación; en tal caso, al abrirse el archivo, la altura de antena estará cargada, luego se controlará si es correcta y se modificará en caso de ser necesario. En cuanto al tipo de antena, hay programas que traen incluidos diversos modelos de antenas, que permiten que se elija el que corresponda; y otros que dan la posibilidad de introducir el radio de antena, atendiendo a que la altura no fue tomada sobre la vertical, sino que se trata de una distancia inclinada.

Con las consideraciones previas, ya se está en condiciones de realizar el cálculo.

Luego de procesar o de procesar y compensar, se podrá ver los resultados de la observación.

Se obtiene como resultado un reporte que contiene información como; coordenadas cartesianas y geodésicas de los puntos desconocidos, longitud de los vectores, componente de los vectores en el sistema absoluto, componente de los vectores en los sistemas locales de cada punto estación, para cada vector coordenadas de una de las estaciones en el sistema horizontal geodésico de la otra, errores estándar, errores relativos, matriz de varianza y covarianza de cada vector, paso de test, etc.

# 9. CARTOGRAFÍA MATEMÁTICA

En esencia la cartografía matemática se ocupa de establecer las relaciones entre el espacio origen (esfera o elipsoide) y el plano, bajo condiciones que en cada caso se impongan y analizando las deformaciones que se produzcan.

La correspondencia entre los puntos de la superficie (esférica o episódica) y su representación cartográfica (plano) se expresa con precisión mediante el estudio de las teorías de representación, transformación y caracterización de superficies.

Como las superficies de la esfera y del elipsoide de revolución no son desarrollables en el plano, toda representación cartográfica de esas superficies ocasiona deformaciones cuya magnitud depende de la extensión de la superficie a representar y de método cartográfico que se emplea.

## 9.1. Proyecciones Cartográficas

La cartografía es la ciencia que trata de expresar gráficamente el conocimiento que se tiene de la superficie terrestre en sus más diversos aspectos.

a cartografía puede ensamblar lo levantado topográficamente con lo medido geodésicamente y lo determinado astronómicamente para dar una imagen plana de la superficie de la tierra, y fijar la posición de los puntos en base a coordenadas planas rectangulares (X, Y), fáciles de visualizar y cómodas de manejar calculisticamente con la trigonometría plana.

El análisis geométrico más sencillo es el de la proyección. La proyección es la correspondencia matemática biunívoca entre los puntos de la esfera o elipsoide y sus transformados en el plano, con la condición de que la imagen en el plano se asemeje lo más posible a la superficie curva de la tierra.

Recibe el nombre de “Sistema de Proyección Cartográfica” la ley o conjunto de leyes según las cuales a cada punto de la superficie le corresponde un único punto en la carta, y recíprocamente. Tales leyes establecen relaciones que vinculan las coordenadas (geográficas o geodésicas) latitud y longitud de un punto sobre la superficie curva con las coordenadas cartesianas planas X e Y, imagen de la anterior, con la condición de que la imagen se asemeje lo más posible al original. Es decir que la cartografía matemática obtiene mediante el cálculo, las coordenadas de los puntos del plano correspondientes a los puntos situados en la superficie (esfera o elipsoide).

Uno de los problemas de especial importancia para la Cartografía es el trazado de la red de coordenadas geográficas en una superficie plana. Esto se debe a que la superficie del esferoide terrestre no es desarrollable en un plano, por lo que es imposible realizar la traslación sin cometer errores: o bien deformamos los contornos de la figura proyectada, o bien falseamos el área de la figura. Esto implica la imposibilidad de traspasar todas las características simultáneamente que esta red presenta en la realidad; por ello existen múltiples sistemas de proyecciones, las cuales responden a la necesidad de reproducir las diferentes propiedades que las coordenadas presentan en la esfera terrestre

Dichos sistemas de proyección se pueden clasificar de la siguiente manera:

| Según criterio considerado | Forma de la Tierra | Denominación del Sistema | |
|---|---|---|---|
| Extensión del área a representar, variando desde una zona pequeña hasta la superficie total de la tierra. | No se tiene en cuenta la esfericidad de la tierra. Zona pequeña: máxima extensión menor a 1°<br>Esfera<br>Elipsoide | Plano topográfico<br><br>Cartas geográficas<br><br>Cartas geodésicas. | |
| Superficies de representación | Esfera: si la proyección es sobre un plano<br><br>Esfera o Elipsoide: si la transformación es sobre superficies auxiliares desarrollables | Proyecciones geográficas acimutales<br><br>Proyecciones cilíndricas<br><br>Proyecciones conicas | Gnomonicas<br>Estereográficas<br>Ortográficas<br><br>Directa<br>Trasversal<br>Secante<br><br>Tangente al paralelo<br>Secante al paralelo |
| Fidelidad: conociendo que la superficie curva de la tierra no es desarrollable sobre un plano, las figuras de la carta serán imágenes deformadas de las correspondientes figuras del terreno | Esfera o elipsoide | Proyecciones equidistantes o automecoicas<br><br>Preoyecciones conformes o isogonales<br><br>Proyecciones equivalentes o autalicas<br><br>Proyecciones afilacticas: no son conformes ni equivalentes. | Conservan las longitudes de meridianos y paralelos<br><br>Conservan los ángulos. Figura pequeña en la superficie y su imagen en la carta son semejantes. Guardan las formas.<br><br>Conservan la proporción de las áreas entre la carta y la superficie.<br><br>Son utilizables si cumplen condiciones especiales |

## 9.2. Proyecciones Gauss-Krüger

Los matemáticos Lambert y Lagrange antecesores de Gauss en el área de las investigaciones sobre proyecciones conformes, son considerados fundadores de la ciencia de las proyecciones cartográficas modernas.

Gauss en el año 1821 aplicó su proyección cilíndrica conforme a las operaciones geodésicas del levantamiento del estado de Hanover (Alemania). Este sistema en el que la superficie intermediaria de proyección es un cilindro elíptico tangente a lo largo del meridiano central de la región que se quiere representar, es especialmente ventajoso para territorios extendidos preferentemente en la dirección Norte-Sur.

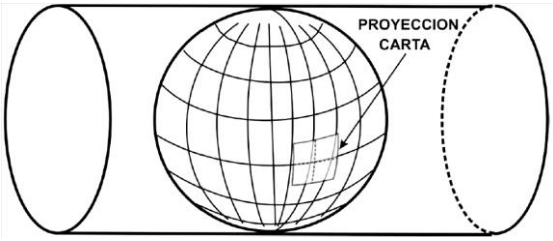



Figura 9.1: Proyección Gauss Krüger

En esta proyección, las deformaciones solo dependen del apartamiento respecto del meridiano central de tangencia y son simétricas respecto del mismo, de manera que el sistema puede ser aplicado sin limitaciones en la dirección Norte-Sur, desde un polo hasta el otro. Cuando el territorio es muy extenso en la direccione Este-Oeste, su representación en este sistema presenta deformaciones grandes en los puntos más alejados del meridiano central que podrían exceder la tolerancia admitida. En estos casos puede subsanarse el inconveniente dividiendo el territorio en husos meridianos de ancho tal que las mayores deformaciones no sobrepasen las tolerancias establecidas, y que tampoco se requiera el empleo de fórmulas demasiado complicadas en los cálculos prácticos de transformación de coordenadas.

Para conseguir la necesaria conexión entre los husos contiguos que forman sistemas de coordenadas independientes, se establecen zonas de superposición en los bordes de los mismos y allí se calculan las coordenadas en ambos sistemas.

En el año 1912, el matemático y geodesta L. Krüger del instituto geodésico de Postdam, completó y amplió la proyección Gauss empleando los HUSOS MERIDIANOS (o fajas) y así se generalizó la designación de “Proyección Plana Conforme de Gauss-Krüger”. Además publicó las fórmulas de cálculos adecuados para esos husos o fajas destinadas al Servicio Geográfico Alemán.

## 9.3. Características de la Proyección Gauss-Krüger

De acuerdo a los aspectos ya mencionados, se encuadra a la proyección Gauss Krüger como conforme, hablando dentro de lo que son las propiedades de esta representación.

Las proyecciones conformes son aquellas que conservan la magnitud de los ángulos y el sentido al momento de traspasar una figura desde la superficie de referencia al plano. Utiliza como superficie auxiliar de proyección un cilindro tangente al meridiano central, lo cual la transforma en una representación cilíndrica. Por tratarse de una proyección analítica, la misma carece de punto de vista.

**Condiciones generales:**

La Proyección Gauss Krüger se distingue entre otras cilíndricas conforme por las siguientes condiciones:

a) La imagen del meridiano central del huso es el eje de las abscisas (X), tomando positivamente hacia el Norte.

b) Cada segmento del eje de las abscisas (X) es igual al arco elíptico del meridiano que representa.

c) Para expresarla en el sistema argentino, es decir medida desde el Polo positiva hacia el Norte, habrá que sumarle al valor de X el valor de un cuarto (1/4) de la longitud del meridiano terrestre, es decir 10002288,299m para Campo Inchauspe 69.

## Adopción del sistema de proyección G-K para la Argentina

En el año 1925 el Instituto Geográfico Militar adopta para nuestro país como sistema de proyección el Sistema Gauss Krüger.

Inicialmente se eligió el elipsoide de Hayford como figura de la tierra y se tomó como punto de arranque para el cálculo de las coordenadas geodésicas el observatorio de Córdoba y como acimut de orientación el de un lado de la triangulación principal emergente de ese punto. Hoy en día el elipsoide al que se asocia es WGS´84.

Las mediciones horizontales se representan en coordenadas rectangulares mediante la Proyección Conforme de Gauss Krüger de cada una de las siete fajas meridianas de 3° de ancho en que se divide la República Argentina, con meridianos centrales en las longitudes 72°, 69°, 66°, 63°, 60°, 57° y 54° al Oeste de Greenwich. Cada faja se extiende a 1,5° al Este y al Oeste del meridiano central, pero es conveniente ampliar medio grado (0,5°) en cada límite de faja y extender el cálculo de las coordenadas a 2° a ambos lados del meridiano central.

Las abscisas (X) se cuentan desde el Polo Sur hacia el Norte y las ordenadas (Y) de Oeste a Este.

Para distinguir por sus coordenadas las 7 fajas entre sí y emplear solo números positivos, el IGM designó al meridiano de 72° la característica K=1, y al de 69° el número 2 y al de 66° el número 3 y así sucesivamente hasta el número 7.

Para evitar que se repitan los mismos valores de la ordenada (Y), y principalmente para eliminar el signo negativo de las Y, se atribuyó a cada meridiano central el valor de 500000, ante poniéndole el número de la característica K (millones de metros) correspondiente a cada faja. De esta forma se mantiene sin variar la característica de la faja para las ordenadas de todos los puntos pertenecientes a un sistema.

A los puntos de los meridianos centrales de los siete sistemas argentinos corresponden entonces las siguientes ordenadas

Al meridiano de -72°, central de la faja 1, le corresponde la Y=1500000m
Al meridiano de -69°, central de la faja 2, le corresponde la Y=2500000m
Al meridiano de -66°, central de la faja 3, le corresponde la Y=3500000m
Al meridiano de -63°, central de la faja 4, le corresponde la Y=4500000m
Al meridiano de -60°, central de la faja 5, le corresponde la Y=5500000m
Al meridiano de -57°, central de la faja 6, le corresponde la Y=6500000m
Al meridiano de -54°, central de la faja 7, le corresponde la Y=7500000m

Todas las cartas deben contener el correspondiente Canevá Cartográfico, es decir la red de coordenadas rectangulares Gauss Krüger y la red de meridianos y paralelos.

Para calcular las coordenadas Gauss Krüger al centímetro se utilizan las siguientes fórmulas:

$$\boldsymbol{X} = S + \frac{(l*\cos\varphi)^2\, Nt}{2} + \frac{(l*\cos\varphi)^4}{24} * N * t * (\,5 - t^2 + 9\,\eta^2 \;+ 4\,\eta^4\,) \qquad [1.91]$$

$$\boldsymbol{Y} = K * 1000000 + 500000 + l * \cos\varphi \;\; N + \frac{(l*\cos\varphi)^3 * N *(1-t^2+\eta^2\,)}{6} \qquad [1.92]$$

Donde:
K: característica de la faja
K*1000000+500000=Y0=ordenada de la faja (meridiano central)
S=B+1/4 del meridiano= B+Q
ϕ= latitud del punto contada desde el Ecuador negativa al Sur.
l= longitud del punto contada desde el Meridiano Central de la faja correspondiente, positiva al Este, negativa al Oeste, expresada en radianes.

# 10. ESTADÍSTICA

## 10.1. Introducción

El tratamiento del comportamiento de los errores en cartografía, los SIG y la geomática, considera a las variables en estudio como los observables a estudiar (variables matemáticas con valores numéricos en todo el espacio real).

Estos observables estarán afectados en cierta medida de una componente sistemática que habrá que determinar y/o minimizar, y otra componente aleatoria o accidental. Es en este punto donde se consideran las variables a estudiar como aleatorias y se estudiarán bajo los conceptos probabilísticos, donde conforman un conjunto muestral representativo de un universo mucho más grande, lo que se conoce como población.

Teniendo en cuenta que el tema a desarrollar en esta tesis es la validación de la cartografía digital a través de su control de calidad, es necesario resaltar que las herramientas que se usarán en el tratamiento numérico para la determinación de la misma, poseen un fuerte contenido estadístico - probabilístico.

## 10.2. Definición

Es el arte de realizar inferencias y sacar conclusiones a partir de valores observados.

Los datos son generalmente imperfectos y en el sentido que aun cuando posean información útil, no cuentan la historia completa. Es necesario contar con métodos que permitan extraer información a partir de los datos observados para comprender mejor las situaciones que los mismos representan.

Algunas técnicas de análisis de datos observados son sorprendentemente simples de aprender y usar, más allá del hecho que la teoría matemática que la sustentan puede ser muy compleja.

Existen muchos métodos estadísticos cuyo propósito es ayudar a poner en manifiesto las características sobresalientes e interesantes de los datos que pueden ser usados en casi todas las áreas del conocimiento.

Los métodos estadísticos pueden y deberían ser usados en todas las etapas de una investigación, desde el comienzo hasta el final. Existe el convencimiento de que la estadística trata con el ANÁLISIS DE DATOS ESPACIALES (quizás porque esta es la contribución más visible de la estadística), pero este punto de vista excluye aspectos vitales relacionados con el DISEÑOS DE LAS INVESTIGACIONES. Es importante tomar conciencia que la elección del método de análisis para un problema, se basa tanto en el tipo de datos disponibles como en la forma en que fueron recolectados.

**Áreas de la estadística**:

Diseño: Planeamiento y desarrollo de investigaciones. Consiste en definir cómo se desarrollará la investigación para dar respuesta a las preguntas que motivaron la misma, es decir, se define el diseño para obtener la muestra.

## 11. ESTADISTICA DESCRIPTIVA

Resumen y análisis exploratorio de datos espaciales. Es el primer paso del tratamiento estadístico una vez obtenidos los datos, para los cuales se estudiará su comportamiento y estructura. Estos datos pueden ser resumidos numérica o gráficamente. Su objetivo es organizar y describir las características sobre un conjunto de datos con el propósito de facilitar su aplicación, generalmente con el apoyo de gráficas, tablas o medidas numéricas.

Tipos de datos: Categóricos o cualitativos:

➡ dicotómicos: (dos categorías) ( sexo, género, etc)

➡ más categorías: nominales: No existe orden obvio entre las categorías.

Ordinales: Existe un orden natural entre las categorías.

Numéricos: el resultado de la observación o medición es un número.

➡ Discretos: La variable sólo puede tomar un cierto conjunto de valores posibles (muy cuantificables).

➡ Continuos: Las mediciones pueden tomar teóricamente un conjunto infinito de valores posibles dentro de un rango (valores manejados por el azar). En la práctica los valores posibles de la variable están limitados por la precisión del método de medición o por el modo de registro.

### 11.1. Métodos Gráficos

Facilitan el entendimiento y la visualización del comportamiento implícito que tienen los datos. Lo óptimo, es utilizar un conjunto de éstos datos gráficos para poder contrastar los resultados.

**Tabla de frecuencias, Histograma y Polígono de frecuencia:** dan una idea de la tendencia de los datos.

| CLASE | | | | | Número de Datos |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | ≤ | V | < | 10 | 1 |
| 10 | ≤ | V | < | 20 | 1 |
| 20 | ≤ | V | < | 30 | 0 |
| 30 | ≤ | V | < | 40 | 0 |
| 40 | ≤ | V | < | 50 | 3 |
| 50 | ≤ | V | < | 60 | 2 |
| 60 | ≤ | V | < | 70 | 2 |
| 70 | ≤ | V | < | 80 | 13 |
| 80 | ≤ | V | < | 90 | 16 |
| 90 | ≤ | V | < | 100 | 11 |
| 100 | ≤ | V | < | 110 | 13 |
| 110 | ≤ | V | < | 120 | 17 |
| 120 | ≤ | V | < | 130 | 13 |
| 130 | ≤ | V | < | 140 | 4 |
| 140 | ≤ | V | < | ∞ | 4 |

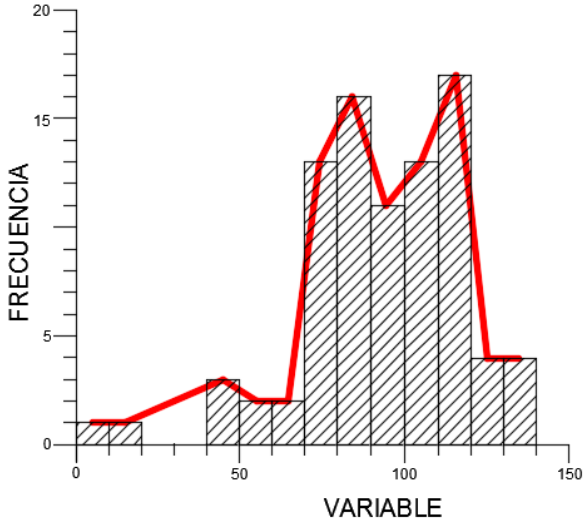



Figura 11.1

En el gráfico se muestran columnas que se encuentran fuera de la tendencia que siguen el resto de los valores, ésto se debe a la presencia de valores atípicos conocidos como outliers o bien a la presencia de errores groseros, por tal motivo, éstos valores serán analizados en primer instancia como outlier ya que es necesario conocer la naturaleza de la medición, en caso de no responder a éste comportamiento, los mismos se analizarán como errores groseros para su determinación y posterior eliminación.

**Formas de distribución**: las barras son pegadas, porque se analizan variables continuas.

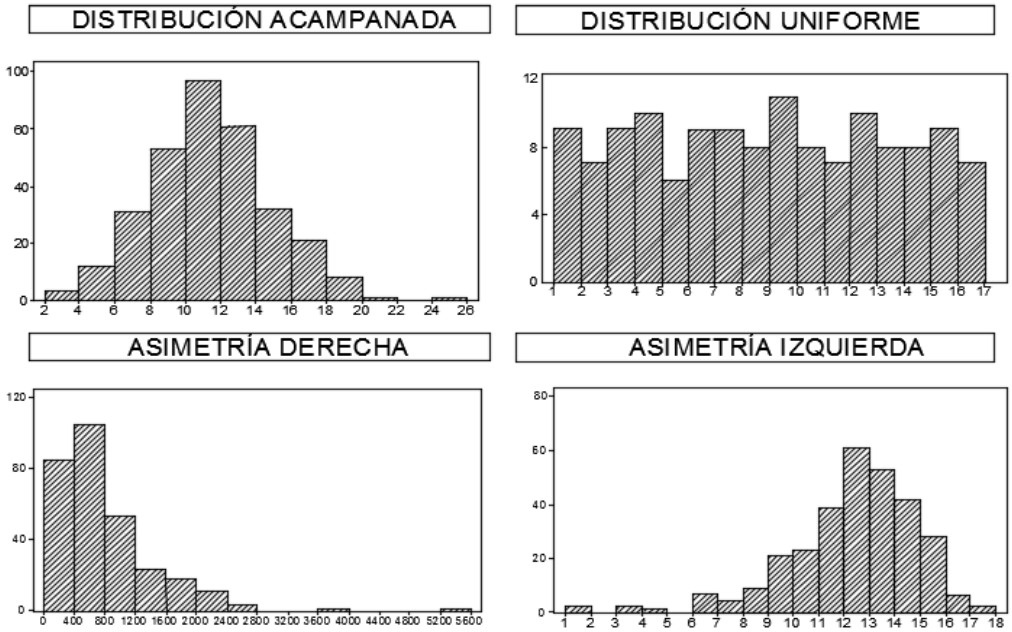



Figura 11.2

- **Tabla de frecuencias acumulada, histograma:**

| CLASE | Número de Datos | Número de Datos Acumulados |
|---|---|---|
| V < 10 | 1 | 1 |
| V < 20 | 2 | 2 |
| V < 30 | 2 | 2 |
| V < 40 | 2 | 2 |
| V < 50 | 5 | 5 |
| V < 60 | 7 | 7 |
| V < 70 | 9 | 9 |
| V < 80 | 22 | 22 |
| V < 90 | 38 | 38 |
| V < 100 | 49 | 49 |
| V < 110 | 62 | 62 |
| V < 120 | 79 | 79 |
| V < 130 | 92 | 92 |
| V < 140 | 96 | 96 |
| V < ∞ | 100 | 100 |

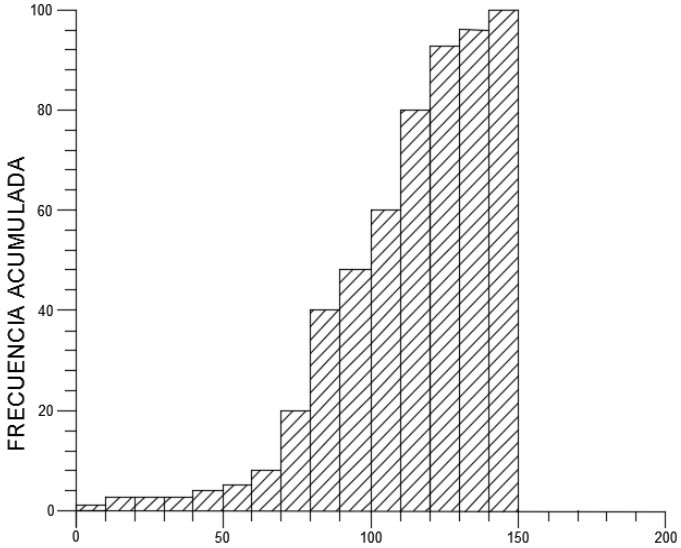
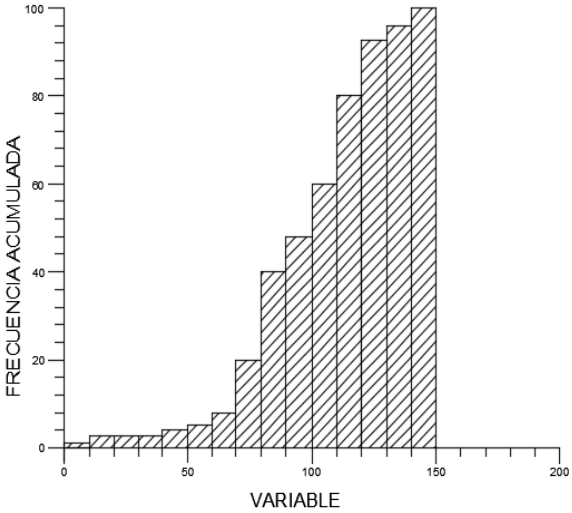



Figura 11.3

- **Polígono de frecuencia acumulada, ojiva:**



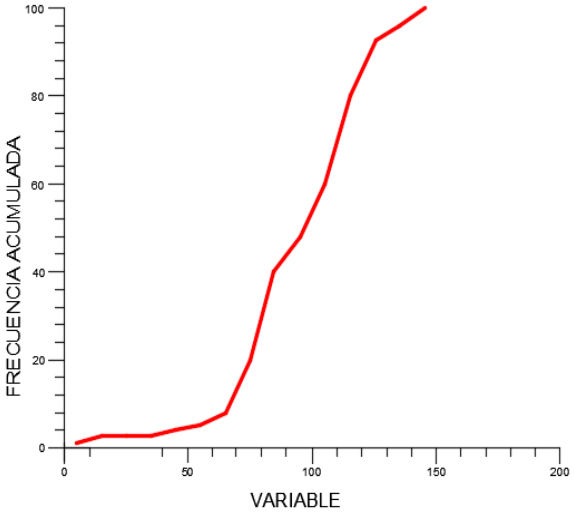




Figura 11.4

- **Gráfico de tallo y hoja:** se ordenan los datos de menor a mayor, permitiendo visualizar la distribución, rango de variación, máximo y mínimo.

GRÁFICO DE TALLO Y HOJA

```
1 | 99
2 | 012223
2 | 556999
3 | 02334
3 | 557
4 |
5 | 0
```

GRÁFICO DE TALLO Y HOJA

```
1 | 99
2 | 012223556999
3 | 02334557
4 |
5 | 0
```

- **Gráfico de probabilidad Normal:** El eje de ordenadas está escalado de tal manera que si la distribución es normal, las frecuencias acumuladas se alinearán sobre una línea recta.

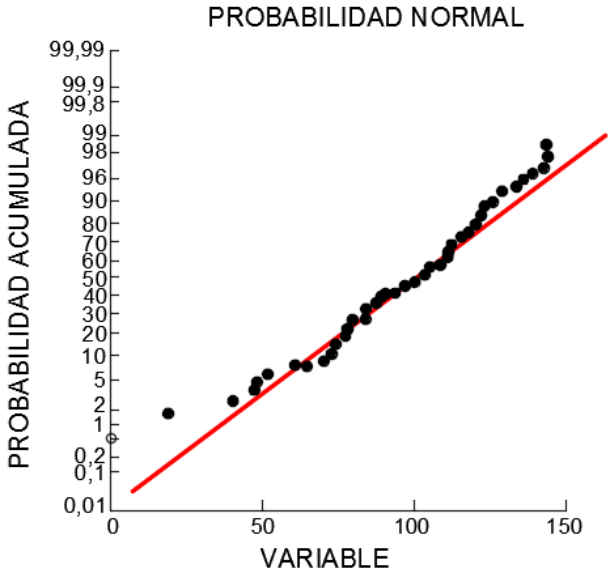



Figura 11.5

- **Gráfico de Box-Plot (Caja o Bigotes)**

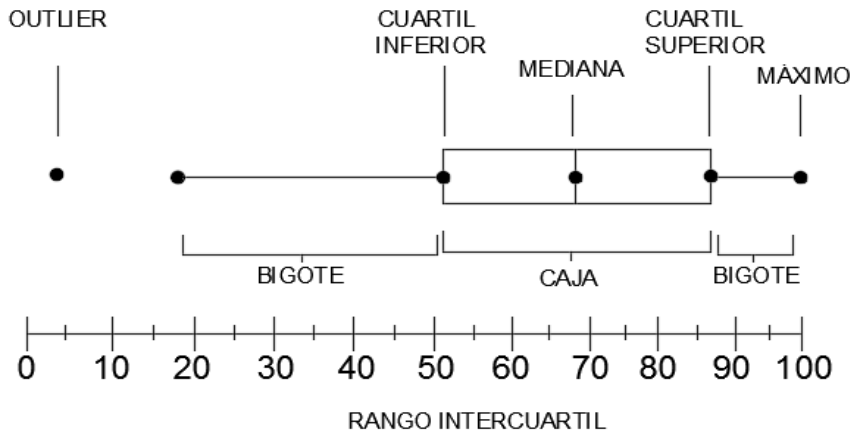



Figura 11.6

La longitud de los bigotes se calcula como 1.5 * (Q3 - Q1).
Q3: Cuartil superior; Q1: Cuartil inferior; (Q3 - Q1): Rango intercuartil.
Si la distribución es normal, la mediana estará en el medio.
Los valores que caen entre los límites (máximo y mínimo) y los cuartiles superior e inferior serán considerados outlier, pero si caen por fuera de dichos límites serán considerados errores graves de outliers.

## 11.2. Métodos Numéricos

- Medidas de posición o localización: describen un valor alrededor del cual se encuentran las observaciones:
  - Localización del centro de la distribución: media, mediana y moda.
  - Localización de otras partes de la distribución: mínimo, máximo y cuantiles.

- Medidas de dispersión o escala: pretenden expresar cuán variable es un conjunto de datos, es decir, que tan esparcidos están dichos datos respecto del valor medio:
  - Rango
  - Varianza
  - Desvío.

- Medidas de Posición o Centrado: Se busca un valor típico (central) que represente a los datos. Si la distribución es simétrica, diferentes medidas darán resultados similares y hay un claro valor de centrado. Si es asimétrica, no existe un centro evidente y diferentes criterios para resumir los datos pueden diferir considerablemente:
  - Coeficiente de sesgo
  - Coeficiente de variación

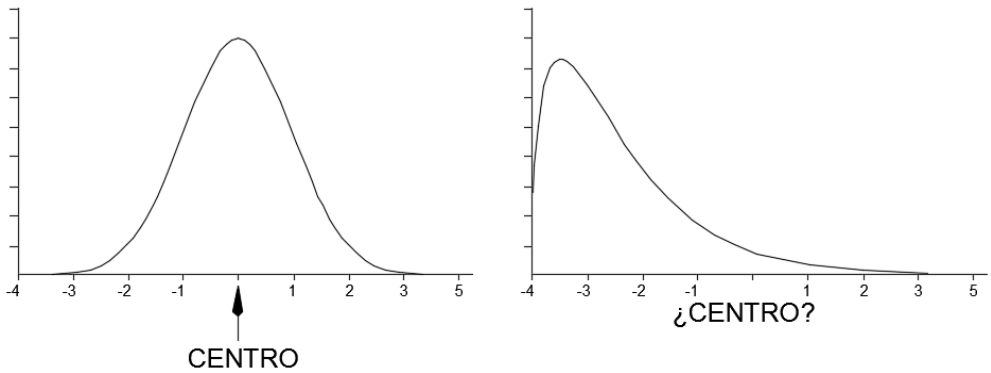



Figura 11.7

- <u>Medidas de localización:</u>

- **Media Aritmética**

La media aritmética de un conjunto de n datos $Z_1$, $Z_2$, …, $Z_n$ es:

$$m_Z = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} Z_i$$

Es posible relacionar los coeficientes $Z_i$ con un coeficiente o peso según su localización. Estará afectada fuertemente por valores atípicos o errores groseros.

Luego se define la media aritmética ponderada:

$$m_Z = \frac{\sum_{i=1}^{n} \omega_i Z_i}{n \sum_{i=1}^{n} \omega_i}$$

- **Mediana Muestral**

La mediana M de un conjunto de n datos $Z_1$, $Z_2$, …, $Z_n$ es el valor de la variable para un porcentaje acumulado del 50% o si los datos están ordenados según su magnitud, es el valor del medio si n es impar, y es la media de los dos valores del medio si n es par, esto respectivamente será:

$$\tilde{X} = \begin{cases} X_{(k+1)} & si \quad n = k+1 \\ \frac{X_{(k)} + X_{(k+1)}}{2} & si \quad n = 2k \end{cases}$$

La mediana es resistente a datos atípicos.

- **Moda**:

Es el valor que ocurre más frecuentemente en un conjunto de datos; puede no existir, y si existe, puede no ser única; en un histograma, su localización se representa por la barra más alta; cambia con la precisión de los datos.

**Relación entre Media, Mediana y Moda:**

Si la distribución es simétrica, la media, mediana y moda identifican el mismo punto.

Gráficamente se puede representar la localización de las diferentes medidas, según el tipo de distribución:

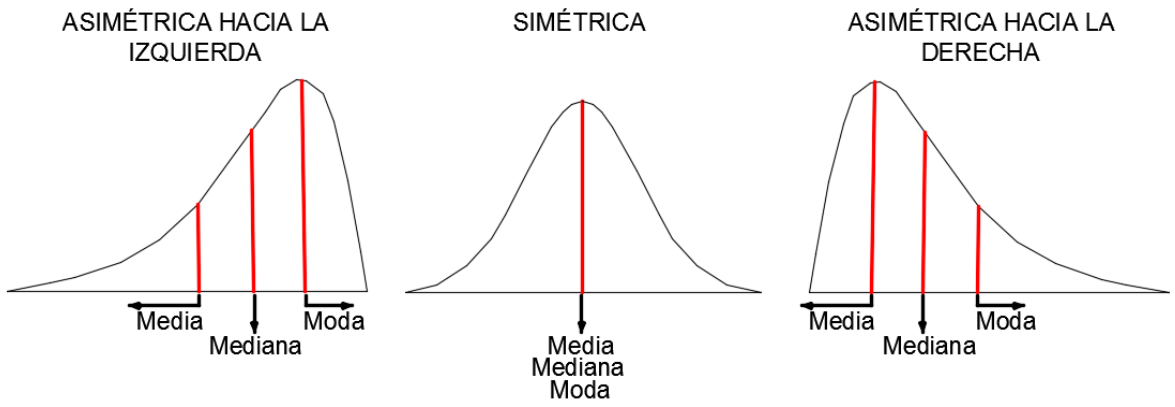
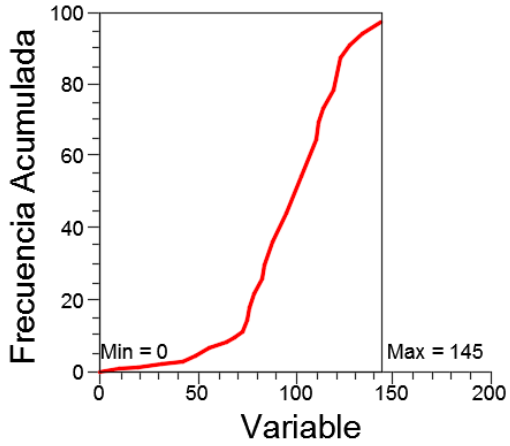



Figura 11.8

**Medidas de Dispersión:**




**<u>Rango</u>:**

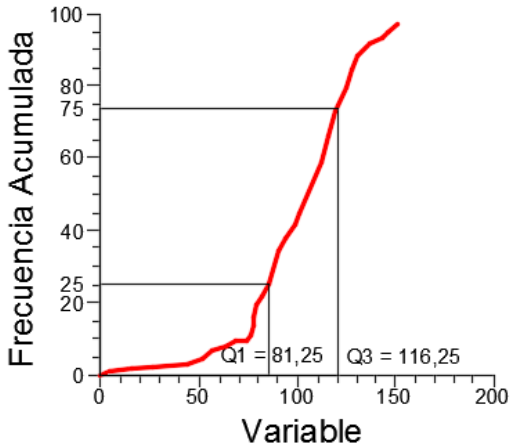
Se define como la diferencia entre el valor más grande y el valor más pequeño de los datos;

Rango= Máximo - Mínimo

Esta medida es muy sensible a la presencia de outliers.

<u>Máximo</u>: Es el valor de la variable, para un porcentaje acumulado al 100%.

<u>Mínimo</u>: Es el valor de la variable para un porcentaje acumulado del 0%.



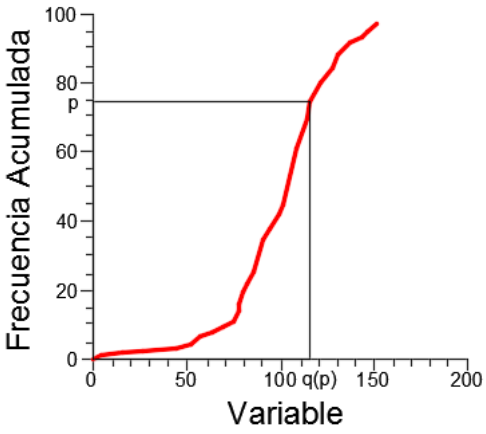

-**<u>Rango intercuartil</u>**

Es una medida basada en el rango de los datos centrales de la muestra y más resistentes que el desvío estándar.

Rango intercuartil: $Q_3 - Q_1$

Primer cuartil: es el valor de la variable para un porcentaje acumulado del 25%.

Tercer cuartil: es el valor de la variable para un porcentaje acumulado del 75%.




Los cuartiles y la mediana dividen a la muestra ordenada en cuatro partes igualmente pobladas, hallándose aproximadamente el 50% central de los datos.

Cuantiles: valor (□) de la variable para el cual el porcentaje acumulado de la distribución es igual □.

Si □ se incrementa de a décimos, se habla de deciles.

Si □ se incrementa de a centésimos, se habla de percentiles.

**Varianza muestral**

Es un medida de la variabilidad de los datos alrededor de los datos de la media muestral:

**Varianza muestral** $S^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i - \tilde{X})^2}{n-1}$ **Desvio estandar muestral** $S = \sqrt{S^2}$

Indican cuánto se alejan las mediciones de la media.

Medidas de Forma:

- **Coeficiente de sesgo**

Informa acerca de la simetría de una distribución $CS = \frac{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(Z_i - m_Z)^3}{S^3}$

Si CS=1, la distribución es normal.

Es un estadístico muy sensible a valores extremos, de forma tal que solo se usa su signo:

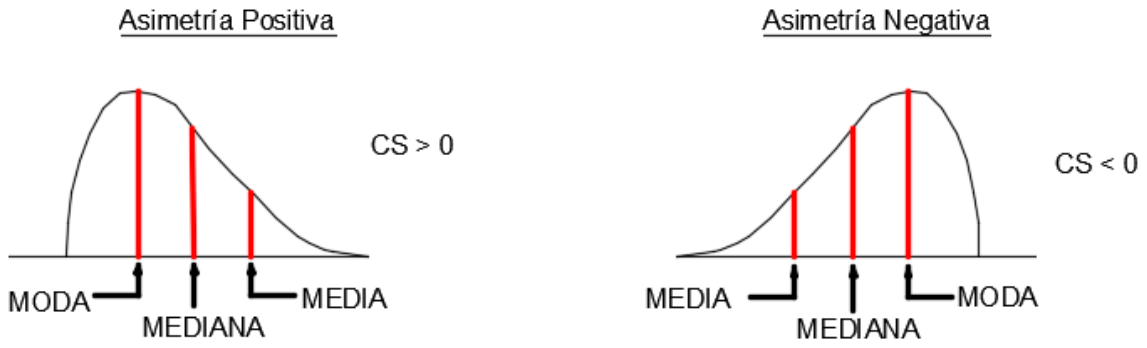



Figura 11.9

- Coeficiente de variación

$$CV = \frac{S}{m_Z}$$

Informa acerca de la longitud de las colas en la distribución de valores, expresa a la variación como una fracción de la media, suele utilizarse para describir distribuciones de variables cuyos valores y sesgo son positivos.

Si CV > 1 es probable que haya algún valor atípico o error grosero.

Pierde su utilidad cuando $m_z$ se acerca a 0.

Descripción bivariada:

La estadística descriptiva bivariada aborda el estudio de los sucesos en los que intervienen dos variables simultáneamente, analizando como es el comportamiento de una respecto de la otra. Cuando se quiere describir conjuntamente dos variables estadísticas, el primer paso será (al igual que en el caso de la estadística univariada), representar los datos en una tabla de frecuencia, donde en cada caso le corresponde no un valor sino dos (uno para cada una de las variables), pudiéndose relacionar varios atributos entre sí. Los pares de valores así formados constituyen la distribución bidimensional.

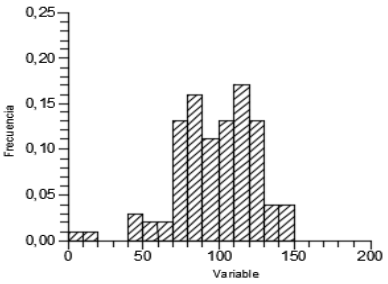
Comparación de dos distribuciones:

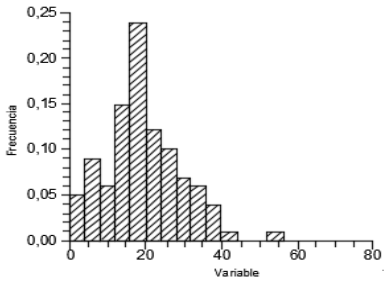
| V | | | | | U | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 81 15 | 77 12 | 103 24 | 112 27 | 123 30 | 19 0 | 40 2 | 111 18 | 114 18 | 120 18 | | |
| 82 16 | 61 7 | 110 34 | 121 36 | 119 29 | 77 7 | 52 4 | 111 18 | 117 18 | 124 20 | | |
| 82 16 | 74 9 | 97 22 | 105 24 | 112 25 | 91 10 | 73 7 | 115 19 | 118 19 | 119 22 | | |
| 88 21 | 70 8 | 103 27 | 111 27 | 132 32 | 64 4 | 84 10 | 15 105 | 113 17 | 123 19 | | |
| 89 21 | 88 18 | 94 20 | 110 27 | 116 29 | 108 19 | 73 7 | 107 16 | 118 19 | 127 22 | | |
| 77 15 | 82 16 | 86 16 | 101 23 | 109 24 | 113 25 | 79 7 | 102 15 | 120 21 | 121 20 | | |
| 74 14 | 80 15 | 85 15 | 90 16 | 97 17 | 101 18 | 96 14 | 72 6 | 128 28 | 130 25 | | |
| 75 14 | 80 15 | 83 15 | 87 15 | 94 16 | 99 17 | 95 13 | 48 2 | 139 40 | 145 38 | | |
| 77 16 | 84 17 | 74 11 | 108 29 | 121 37 | 143 55 | 91 11 | 52 3 | 136 34 | 144 35 | | |
| 87 22 | 100 28 | 47 4 | 111 32 | 124 38 | 109 20 | 0 0 | 98 14 | 134 31 | 144 34 | | |

Métodos gráficos y estadísticos univariados

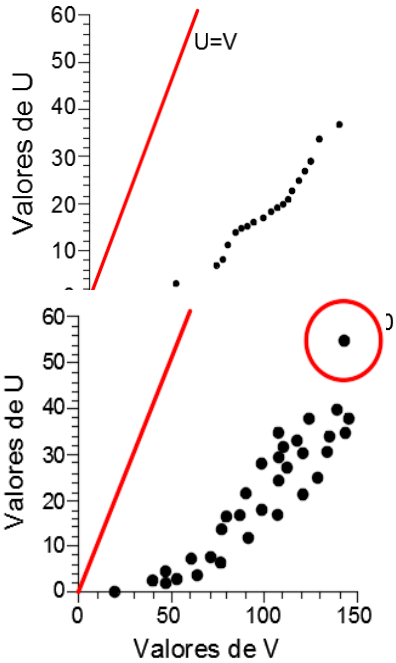
Tabla de frecuencias e histograma

| Clase | Nº datos | Clase | Nº datos |
|---|---|---|---|
| $0 \le V < 10$ | 1 | $0 \le U < 4$ | 5 |
| $10 \le V < 20$ | 1 | $4 \le U < 8$ | 9 |
| $20 \le V < 30$ | 0 | $8 \le U < 12$ | 6 |
| $30 \le V < 40$ | 0 | $12 \le U < 16$ | 15 |
| $40 \le V < 50$ | 3 | $16 \le U < 20$ | 24 |
| $50 \le V < 60$ | 2 | $20 \le U < 24$ | 12 |
| $60 \le V < 70$ | 2 | $24 \le U < 28$ | 10 |
| $70 \le V < 80$ | 13 | $28 \le U < 32$ | 7 |
| $90 \le V < 100$ | 11 | $32 \le U < 36$ | 6 |
| $100 \le V < 110$ | 13 | $36 \le U < 40$ | 1 |
| $110 \le V < 120$ | 17 | $40 \le U < 44$ | 1 |
| $120 \le V < 130$ | 13 | $44 \le U < 48$ | 0 |
| $130 \le V < 140$ | 4 | $52 \le U < 56$ | 1 |
| $140 \le V < \infty$ | 4 | $56 \le U < \infty$ | 0 |



| | n | m | σ | CV | min | $Q_1$ | M | $Q_2$ | máx |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **V** | 100 | 97.6 | 26.2 | 0.27 | 0.0 | 81.3 | 100.5 | 116.8 | 145.0 |
| **U** | 100 | 19.1 | 9.81 | 0.51 | 0.0 | 14.0 | 18.0 | 25.0 | 55.0 |




La tabla de frecuencias consiste en una tabla de doble entrada en la que se recogen tanto las frecuencias de cada una de las variables por separado como los pares de puntuaciones que cada caso obtiene en ambas variables (frecuencia conjunta).

-**QQ-Plot o Gráfico cuantil - cuantil**

Permite evaluar la cercanía a la distribución normal.

Para realizarlo se consideran los cuantiles de dos distribuciones, expresados uno versus el otro:

Si los datos provienen de una distribución normal, se espera que el gráfico sea parecido a una recta U=V.

El alejamiento de la normalidad se ve reflejado por la forma del gráfico, donde las distribuciones tiene la misma forma que en la anterior, pero su localización es diferente.

- **Diagrama de dispersión**

Colocadas las variables U y V en un punto de coordenadas u(x,y): Permite detectar datos que se encuentran fuera de rango de los datos, siendo un indicador visual de la relación existente entre dos variables, con el cual se determine si, existiendo correlación, la misma será positiva o negativa.

Situaciones que se observan en un diagrama de dispersión:

**No hay Correlación** **Correlación Positiva** **Correlación Negativa**

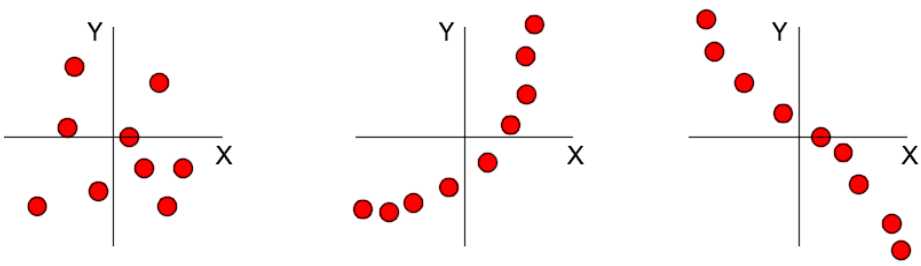



Figura 11.10

Los coeficientes de correlación siempre oscilarán entre -1 y 1.

- Coeficiente de correlación de Pearson:

Sólo válido para evaluar la correlación lineal entre dos variables, es decir que, plantea el nivel de correlación que tiene una variable, respecto de la otra.

$$\rho_{XY} = \frac{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - m_Z)\ (y_i - m_y)}{\sigma_x\ \sigma_y}$$

Donde n es el número de datos; $\square_1$, … , $\square_n$ son los valores de los datos de la primer variable; $m_x$ es su valor medio y $\square_x$ es su desviación típica; por su parte $y_1$, …, $y_n$ son los valores de los datos de la segunda variable; $m_y$ es su valor medio y $\square_y$ es su desviación típica.

- Covarianza:

$$C_{XY} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(X_i - m_X)\ (y_i - m_y)$$

Medida de la variación conjunta de dos variables alrededor de sus medias.

**Nota**: La varianza y la covarianza tienen comportamientos opuestos, pero ambas analizan la dispersión.

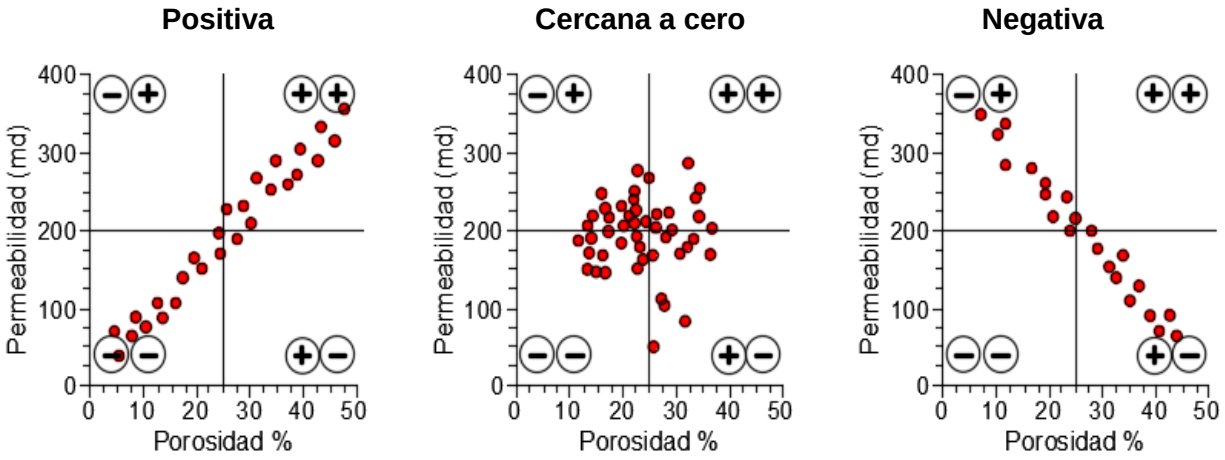



Figura 11.11

Sumarios Estadísticos:

| Ventajas | Desventajas |
|---|---|
| ● Permite condensar y hacer más portable la información.<br>● Pueden servir como parámetros de distribución para la etapa de inferencia. | ● Condensan demasiado la información.<br>● Algunos estadísticos están fuertemente influenciados por valores extremos: media, desvío, sesgo, varianza, coeficiente de correlación, covarianza.<br>● Otros son afectados por huecos en el medio de la distribución: mediana, cuartil inferior, cuartil superior, rango intercuartil. |

## 12. ESTADISTICA INFERENCIAL

Se dedica a la generación de los modelos, inferencias y predicciones asociadas a los fenómenos en cuestión teniendo en cuenta la aleatoriedad de las observaciones, es decir, de la muestra obtenida se infiere sobre la población a través de los estadísticos, permitiendo ésto conocer el comportamiento de dicha población. Dichas inferencias, pueden tomar la forma de respuestas a preguntas sí/no (prueba de hipótesis), estimaciones de unas características numéricas (estimación), pronósticos de futuras observaciones, descripciones de asociación (correlación) o modelamiento de relaciones entre variables (análisis de regresión).

Su objetivo es obtener conclusiones útiles para lograr hacer deducciones acerca de la totalidad de todas las observaciones hechas, basándose en la información numérica. Un importante problema de la inferencia estadística es la estimación de parámetros de la población (parámetros) a partir de los correspondientes estadísticos muestrales (estadísticos) como la media muestral, varianza muestral, etc.

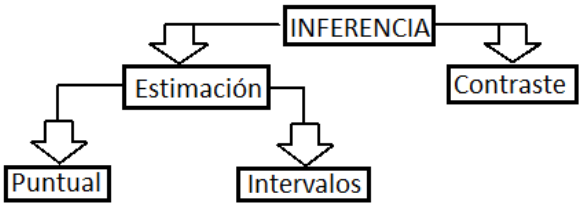



Figura 12.1

Los métodos básicos de la estadística inferencial son la estimación y el contraste de hipótesis, que juegan un papel fundamental en en el análisis de los datos.
Esto permitirá realizar, entre otros, los siguientes estudios:

- Calcular los parámetros de la distribución de medias o proporciones muestrales de tamaño n, extraídas de una población de media y varianza conocidas.
- Estimar la media o la proporción de una población a partir de la media o proporción muestral.
- Utilizar distintos tamaños muestrales para controlar la confianza y el error admitido.
- Contrastar los resultados obtenidos a partir de muestras.
- Visualizar gráficamente, mediante las respectivas curvas normales, las estimaciones realizadas.

**Conceptos a tener en cuenta:**

Población: Conjunto de elementos sobre los que se observa un carácter común. Se representa con la letra N.

Muestra: Conjunto de unidades de una población. Cuanto más significativa sea, mejor será la muestra. Se representa con la letra n.

Unidad de muestreo: Está formada por uno o más elementos de la población. El total de unidades de muestreo constituyen la población. Estas unidades son disjuntas entre sí y cada elemento de la población pertenece a una unidad de muestreo.

Parámetro: Es un resumen numérico de alguna variable observada de la población. Los parámetros normales que se estudian son:

- La media poblacional: $\underline{X}$
- Total poblacional: X
- Proporción: P

Estimador: Un estimador θ* de un parámetro θ, es un estadístico que se emplea para conocer el parámetro θ desconocido.

Estadístico: Es una función de los valores de la muestra. Es una variable aleatoria, cuyos valores dependen de la muestra seleccionada.

Estimación: Este término indica que a partir de lo observado en una muestra, se extrapola o generaliza dicho resultado muestral a la población total, de modo que lo estimado es el valor generalizado a la población.

Consiste en la búsqueda del valor de los parámetros poblacionales objeto de estudio. Puede ser puntual o por intervalo de confianza:

- Puntual: cuando se busca un valor concreto.
- Intervalo de confianza: cuando se determina un intervalo, dentro del cual se supone que va a estar el valor del parámetro que se busca con una cierta probabilidad.

Contraste de hipótesis: Consiste en determinar si es aceptable que el parámetro poblacional estudiado tome un determinado valor o esté dentro de unos determinados valores, partiendo de datos muestrales.

Nivel de confianza: Representa el porcentaje de intervalos que incluirían el parámetro θ, si se tomaran muestras de la misma población una y otra vez.

Estadísticos muestrales: Éstos serán útiles para hacer inferencia respecto a los parámetros desconocidos de una población. Por ello se habla de distribuciones muestrales, ya que están basados en el comportamiento de las muestras.

Distribuciones muestrales: Considerando todas las posibles muestras de tamaño n en una población, para cada una de ellas se calcula un estadístico (media, desviación típica, proporción,...) que variará de una a otra, resultando así la distribución del estadístico correspondiente, llamada distribución muestral.

Las medidas fundamentales de esta distribución son la media, la desviación típica (error típico), y el total poblacional, siendo sus distribuciones muestrales las siguientes:

- Media muestral: Sea X1.....Xn, una m.a.s. con media μ o con E(x)= μ y con varianza muestral V[X] = $\sigma^2/n$, entonces la media muestral se distribuye como una normal de parámetros:

$$\underline{X} \rightarrow N(\mu, \sigma/\sqrt{n})$$

- Varianza muestral: Sea X1.....Xn, una m.a.s. independientes e idénticamente distribuidas, se define el estadístico muestral para la varianza como la cuasivarianza muestral $s^2 = 1/(n-1) \sum^{n}_{1=1} ( x_1 - \underline{x} )^2$, entonces se verifica que:

$$(n-1)s^2/\sigma^2 \rightarrow \chi^2_{n-1}$$

- Total muestral: Sea X1.....Xn, una m.a.s. con E(t)= n μ y con V(t)= n $\sigma^2$, entonces se distribuye como una normal:

$$t \rightarrow ; N ( \mu , \sqrt{n\sigma 2}) .$$

Entonces, a partir de una población se extrae una muestra por algunos de los métodos existentes con la que se generan datos numéricos, lo cuales serán utilizados para generar estadísticos para realizar estimaciones o contrastes poblacionales.

Existen dos formas de estimar parámetros: la estimación puntual y la estimación por intervalo de confianza. En la primera se busca, con base en los datos muestrales, un único valor estimado para el parámetro. Para la segunda, se determina un intervalo dentro del cual se encuentra el valor del parámetro, con una probabilidad determinada.

Estimación Puntual:

Un estimador de un parámetro poblacional es una función de los datos muestrales, es decir, que su fórmula depende de los valores obtenidos de una muestra para realizar estimaciones. Lo que se pretende obtener es el valor exacto de un parámetro.

La media de la muestra puede ser un estimador de la media de la población, la cuasivarianza muestral es un buen estimador de la varianza poblacional y el total muestral es un buen estimador del total poblacional.

Entonces, sea X1.....Xn, una m.a.s. de tamaño n, decimos que es un estimador θ* de un parámetro θ si el estadístico que se emplea para conocer dicho parámetro desconocido es este.

Propiedades o criterios para seleccionar un buen estimador son los siguientes:

- Insesgadez: Un estimador θ* de un parámetro θ es insesgado si su esperanza coincide con el verdadero valor del parámetro. $E[\theta^* ] = \theta$.
  En el caso de no coincidir, se tiene un estimador sesgado.
- Eficiencia: Dados dos estimadores $\theta_1^*$ y $\theta_2^*$ para un mismo parámetro θ, se tiene que $\theta_1^*$ es más eficiente que $\theta_2^*$ si: $V[\theta_1^* ] < V[\theta_2^* ]$.
- Suficiencia: El estimador de un parámetro será suficiente cuando para su cálculo, se utiliza toda la información de la muestra.

- Consistencia: El estimador θ* de un parámetro θ es consistente si la distribución del estimador tiende a concentrarse en un cierto punto cuando el tamaño de la muestra tiende a infinito.

$$\text{Lim } n \to \infty = \{P\,[\hat{o} - \varepsilon \leq \hat{o} \leq \hat{o} + \varepsilon\,]\}.$$

## 12.1. Métodos para obtener los Estimadores

Existen varios métodos que permiten obtener los estimadores puntuales. Los más importantes son:

- Métodos de los momentos: se basa en los momentos poblacionales y se estiman mediante los momentos muestrales. Suelen dar estimadores consistentes.
- Métodos de los mínimos cuadrados: consiste en obtener un estimador que hace mínima una determinada función.
- Método de máxima verosimilitud: consiste en tomar como parámetro poblacional el valor de la muestra que sea más probable, es decir, que tenga mayor probabilidad. Se suelen obtener estimadores consistentes y eficientes.

La probabilidad de que la media muestral sea igual a la media poblacional es cero, $P\,[\underline{x} = \mu\,] = 0$ , siendo complicado obtener un estimador puntual, por éste motivo se utiliza más el Intervalo de Confianza y el Contraste de Hipótesis.

**Estimación por intervalos de confianza:**

El intervalo de confianza está determinado por dos valores dentro de los cuales se afirma que está el verdadero parámetro con cierta probabilidad. Son límites o margen de variabilidad que se da al valor estimado, para poder afirmar, bajo un criterio de probabilidad, que el verdadero valor no los rebasará.

Es una expresión del tipo [θ1, θ2] ó θ1 ≤ θ ≤ θ2, donde θ es el parámetro a estimar. Este intervalo contiene al parámetro estimado con una determinada certeza o nivel de confianza.

En la estimación por intervalos se usan los siguientes conceptos:

- Variabilidad del parámetro: Si no se conoce, puede obtenerse una aproximación en los datos o en un estudio piloto. Habitualmente se usa como medida de esta variabilidad a la desviación típica poblacional y se denota σ.
- Error de la estimación: Es medida de precisión que se corresponde con la amplitud del intervalo de confianza. A mayor precisión requerida en la estimación del parámetro, más estrecho será el intervalo de confianza, y por lo tanto el error será menor..

Denominando a ésta precisión E, según la fórmula E = θ2 - θ1.

- Nivel de confianza: Es la probabilidad de que el verdadero valor del parámetro estimado en la población se sitúe en el intervalo de confianza obtenido. El nivel de confianza se denota por (1-α), aunque habitualmente suele expresarse con un porcentaje ((1-α)·100%). En general se tendrá como nivel de confianza un 95% o un 99%, que se corresponden con valores α de 0,05 y 0,01, respectivamente.

- Valor α: También llamado nivel de significación (nivel de riesgo). Es la probabilidad de fallar en la estimación, ésto es, la diferencia entre la certeza (1) y el nivel de confianza (1-α).
- Valor crítico: Se representa por Zα/2. Es el valor de la abscisa en una determinada distribución que deja a su derecha un área igual a α/2, siendo 1-α el nivel de confianza. Normalmente los valores críticos están tabulados o pueden calcularse en función de la distribución de la población. Por ejemplo, para una distribución normal, de media 0 y desviación típica 1, el valor crítico para α = 0,05 se calcularía del siguiente modo: se busca en la tabla de la distribución ese valor (o el más aproximado), bajo la columna "Área"; se observa que se corresponde con -0,64. Entonces Zα/2 = 0,64.

Un aspecto que debe de tenerse en cuenta es el tamaño muestral, de la teoría de límites de Gauss se tiene que una muestra se considera grande cuando n<30, ya que para disminuir el error que se comete es necesario aumentar el tamaño muestral. Para muestras de menor tamaño, existen otro tipo de distribuciones como T-Student.

Luego se resolverá, para un intervalo de confianza cualquiera, despejando el tamaño de la muestra en cualquiera de las fórmulas de los intervalos de confianza desarrolladas a continuación, a partir del error máximo permitido.

- Intervalo de confianza para la media con varianza conocida:

Sea X una variable aleatoria que se distribuye como X → N(μ , σ), utilizando la media muestral ($\underline{X}$) como estimador, se tendrá $\underline{X}$→ N( μ , σ/$\sqrt{n}$ ).

Tipificando, centrando el estimador, cambiando de origen y de escala, se obtiene:

Z= ($\underline{x}$- μ) / (σ/$\sqrt{n}$) → N (0;1).

Entonces, el intervalo de confianza o la probabilidad para el estimador “media” con la varianza conocida viene dado por los siguientes parámetros:

$$P\left[-Z_{\frac{a}{2}} < \frac{\bar{X}-\mu}{\sigma\sqrt{n}} < Z_{\frac{a}{2}}\right] - P\left[-Z_{\frac{a}{2}}\frac{\sigma}{\sqrt{n}} < \bar{X} - \mu < Z_{\frac{a}{2}}\frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right]-$$

$$P\left[-\bar{X} - Z_{\frac{a}{2}} < \frac{\sigma}{\sqrt{n}} < -\mu < -\bar{X} + Z_{\frac{a}{2}}\frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right]$$

Cambiamos todos los signos, para conseguir la media (μ) positiva:

$$P\left[\bar{X} + Z_{\frac{a}{2}}\frac{\sigma}{\sqrt{n}} > \mu > \bar{X} - Z_{\frac{a}{2}}\frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right] = (1-\alpha).$$

Ordenando la información:

$$P\left[\bar{X} - Z_{\frac{a}{2}}\frac{\sigma}{\sqrt{n}} < \mu < \bar{X} + Z_{\frac{a}{2}}\frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right] = (1-\alpha).$$

Finamente, el intervalo es:

$$\left[\bar{X} - Z_{\frac{a}{2}} \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \;\; ; \;\; \bar{X} + Z_{\frac{a}{2}} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right]$$

- Intervalo de confianza para la media con varianza desconocida y n>30:

Por el Teorema Central del Límite, para cualquier distribución que tenga un tamaño de muestra grande, e puede aproximar o se distribuye como una Normal de parámetros:

$\bar{X} \rightarrow N\,(\mu\,, \frac{S}{\sqrt{n}})$ , siendo s la cuasidesviación típica muestral.

En consecuencia:

$Z = \frac{\bar{X} - \mu}{\frac{S}{\sqrt{n}}} \rightarrow N(0;1)$, procediendo de forma análoga a la anterior, se tiene que el intervalo de confianza es:

$$\left[\bar{X} - Z_{\frac{a}{2}} \frac{S}{\sqrt{n}} \;\; ; \;\; \bar{X} + Z_{\frac{a}{2}} \frac{\sigma}{\sqrt{n}}\right]$$

- Intervalo de confianza para la varianza:

En poblaciones Normales, la variable aleatoria es $[(n-1)\,s^2] / \sigma^2 \rightarrow \chi^2_{n-1}$ . Un nivel de confianza de (1- α)% viene dado por,

$$P\left[X^2_{n-1\,,\;1\frac{\alpha}{2}} < \frac{(n-1)S^2}{\sigma^2} < X^2_{n-1\,,\;\frac{\alpha}{2}}\right] = 1 - \alpha$$

Invirtiendo y despejando:

$$P\left[\frac{1}{X^2_{n-1\,,\;1\frac{\alpha}{2}}} > \frac{\sigma^2}{(n-1)S^2} > \frac{1}{X^2_{n-1\,,\;\frac{\alpha}{2}}}\right] = P\left[\frac{(n-1)S^2}{X^2_{n-1\,,\;1\frac{\alpha}{2}}} > \sigma^2 > \frac{(n-1)S^2}{X^2_{n-1\,,\;\frac{\alpha}{2}}}\right] = 1 - \alpha$$

Por lo tanto, el intervalo de confianza para la varianza es:

$$\left[\frac{(n-1)S^2}{X^2_{n-1\,,\;\frac{\alpha}{2}}} \;;\; \frac{(n-1)S^2}{X^2_{n-1\,,\;1\frac{\alpha}{2}}}\right]$$

**Contraste de hipótesis:**

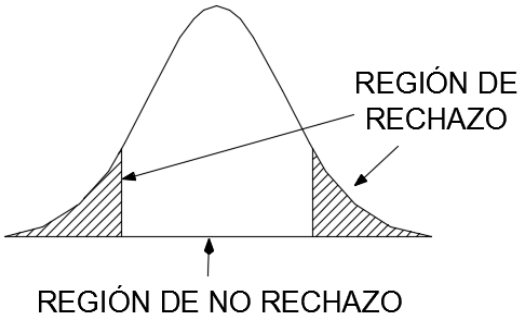
Un contraste de hipótesis o Test de hipótesis estadístico es una prueba de significación o una prueba estadística, que indica el proceso mediante el cual se decide si una proposición respecto de la población, debe ser aceptada o no. Esta proposición es lo que se denomina hipótesis estadística.

Entonces, una hipótesis estadística es una proposición acerca de la función de probabilidad o de la función de densidad de probabilidad de una variable aleatoria o de varias variables

aleatorias. Tal proposición debe referirse bien a la forma de la distribución de probabilidad, bien al valor o valores de los parámetros que lo definan o bien a ambos.

El contraste de hipótesis estadístico se basará en la información proporcionada por la muestra. De modo, que si se rechaza la hipótesis, se indica que los datos de la muestra ofrecen cierta evidencia sobre su falsedad. Si se acepta, simplemente significa que no se rechaza.

Por lo tanto, un contraste de hipótesis consiste en estudiar dos hipótesis: H0 (hipótesis nula), H1 (hipótesis alternativa), de manera que el investigador divide los resultados muestrales en dos zonas; una zona de rechazo y otra de aceptación, de manera que según como se obtenga el resultado, se aceptará o rechazará la hipótesis.




Al aplicar un contraste de hipótesis, se clasifican los puntos del espacio muestral en dos regiones excluyentes y complementarias:

- Región de Rechazo o Región Crítica: Es la formada por el conjunto de los valores del estadístico de contraste que conducirán a rechazar la hipótesis nula $H_0$, los puntos que delimitan la región crítica se llaman puntos críticos.
- Región de Aceptación o Región de No Rechazo: Es la formada por el conjunto de los valores del estadístico de contraste que conducirán a aceptar la hipótesis nula $H_0$.

**Planteamiento de la hipótesis estadística**

Aquella hipótesis que se desea contrastar se llama hipótesis nula ($H_0$), por lo tanto, será la que se acepta o rechaza como conclusión del contraste. Esta, suele ir acompañada por la hipótesis alternativa o hipótesis experimental, simbolizada por $H_1$.

La hipótesis alternativa es la que se verifica cuando no lo hace la hipótesis nula. El planteamiento de H0 permite elaborar un modelo Probabilístico a partir del cual es posible llegar a la decisión final.

La hipótesis nula (Ho) por ser más concreta suele ser simple (especifica exactamente el valor del parámetro) y la alternativa, compuesta (contiene dos ó más valores del parámetro). Es frecuente que se encuentren planteadas como complementarias.

- Supuestos:

Dependiendo del tipo de contraste se tendrá:

- Supuestos acerca de las características ó de los datos que se van a manipular, como puede ser la independencia de las observaciones, nivel de medida utilizada, etc.
- Supuestos acerca de la forma de distribución de partida: Normal, Binomial, etc.

La violación de los supuestos podrá invalidar el modelo probabilístico provocando la toma de decisiones erróneas. Concierne al investigador conocer las consecuencias que se derivan de la violación de tales supuestos sobre el modelo.

Por este motivo, si se plantean los supuestos deben ser mínimos y no demasiado exigentes.

- Estadístico de Contraste

Es el que se utiliza para tomar una decisión en un contraste de hipótesis. Este estadístico es una variable aleatoria, con una distribución muestral determinada, que dará las probabilidades asociadas a un valor o un determinado intervalo de valores del estadístico de contraste.

- Reglas de decisión

Es el criterio utilizado para decidir si se acepta o se rechaza la hipótesis nula, a partir del espacio muestral de valores del estadístico de contraste y probabilidades asociadas. Consiste en dividir tal espacio en dos zonas mutuamente excluyentes y exhaustivas: la zona de rechazo o región crítica y la zona de aceptación. La zona de rechazo está constituida por aquellos valores del estadístico de contraste que se alejan mucho de Ho, por lo tanto es muy poco probable que ocurran si Ho es verdadera.

Por ejemplo:

Contraste de hipótesis unilateral es de la forma (hay más formas):

Ho: $\theta = \theta o$

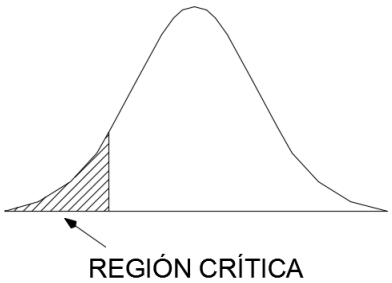
H1: $\theta > \theta o$

Contraste de hipótesis bilateral es de la forma:

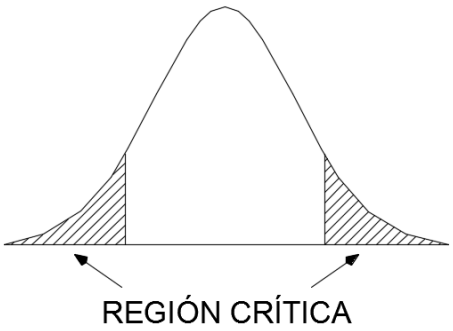
Ho: $\theta = \theta o$

H1: $\theta \neq \theta o$

Entonces, un contraste es unilateral o unidireccional, si para tomar la decisión de rechazar $H_o$ se utilizan exclusivamente valores muy grandes “o” exclusivamente valores muy pequeños del estadístico de contraste.




Luego, un contraste es bilateral o no direccional, si se utilizan valores muy grandes “y” muy pequeños de los posibles valores del estadístico de contraste.




Si la distribución bajo la $H_1$, sólo puede estar a la derecha, será más potente si se coloca a la derecha toda la región crítica.

Si la distribución bajo la $H_1$, puede estar a la derecha o la izquierda sería un test más potente el que pone parte de la región crítica a la derecha y parte a la izquierda.

Respecto a los valores anteriormente definidos, se tendrán entonces:

- α se llama "nivel de significación o nivel de riesgo" y representa a la probabilidad de que un nivel concreto del estadístico de contraste, caiga en la zona de rechazo o crítica, es decir, es el conjunto de valores del estadístico de contraste que lleva a tomar la decisión de rechazar la hipótesis nula.
- (1-α) se llama "nivel de confianza", es el conjunto de valores del estadístico de contraste que lleva a tomar la decisión de aceptar la hipótesis nula.

En los contrastes unilaterales α está concentrada en uno de los dos extremos de la distribución, en una única cola. En los contrastes bilaterales α se reparte entre los dos extremos de la distribución, en las dos colas.

Los contrastes unilaterales suelen ser mejores que los contrastes bilaterales. La elección de uno u otro, está condicionada al planteamiento de la hipótesis alternativa.

Ejemplo: Si Ho ≤ 0.50 ⇒ H1 > 0.50 Es unilateral.

Si Ho = 0.50 ⇒ H1 ≠ 0.50 Es bilateral.

- Cálculo del estadístico y toma de decisión

  Para la toma de la decisión, se deben recopilar los datos necesarios, es decir, se obtienen datos de una ó varias muestras y los estimadores del parámetro (proporción, media, etc.) correspondiente, se calcula el valor concreto del estadístico de contraste y fijado el nivel de significación con la zona crítica, si el valor de tal estadístico cae en tal zona, se rechaza las hipótesis nula y por tanto, se acepta la hipótesis alternativa.
- Errores en los contrates de hipótesis

  Cuando se realiza un contraste de hipótesis, se debe tener en cuenta que al aceptar o rechazar una hipótesis, se puede estar cometiendo un cierto error.

Si se rechaza $H_0$, significa que ésta es falsa y si se acepta, significa que $H_0$ es verdadera. Por tanto, existen dos tipos de errores que se pueden cometer cuando se realiza un contraste:

- Error tipo I (α): Es el error que se comete en la decisión del contraste cuando se rechaza la hipótesis nula ($H_0$), siendo correcta (cierta).
- Error tipo II (β): Es el error que se comete en la decisión del contraste cuando se acepta la hipótesis nula ($H_0$), siendo falsa.

| | Verdadera | Falsa |
|---|---|---|
| Acertar | (1- α)<br>Decisión correcta | β<br>Error tipo II |
| Rechazar | α<br>Error tipo I | (1-β)<br>Decisión Correcta |

En conclusión:

- El error II es el más grave, al que también se le conoce como potencia del contraste, y se representa con la letra β .
- α es el valor de significación, e indica a partir de qué valor se comete un error tipo I.

Así, las probabilidades asociadas a los dos tipos de errores vienen dadas por las siguientes expresiones:

*1*.- Nivel de significación o tamaño del contraste (α):

$\alpha = P(\text{error tipo I}) = P\{\text{rechazar } H_0 / H_0 \text{ cierta}\}$

*2*.- Potencia del contraste ( β ):

$\beta = P\{\text{rechazar } H_0 / H_0 \text{ falsa}\} = 1 - P\{\text{ Aceptar } H_0 / H_0 \text{ falsa}\} = 1 - P\{\text{error tipo II}\}$

- Efecto del tamaño de la muestra en la potencia:

  Al igual que ocurría en los intervalos de confianza, el tamaño de la muestra será importante para determinar el error que se comete o cual es el tamaño de la muestra necesario para mantener un determinado error mínimo.

- Nivel de significación y nivel crítico:

  El nivel de significación lo elige el investigador antes de realizar el contraste, para que no influya en su decisión. Por lo tanto el nivel de significación representa el riesgo máximo admisible al rechazar $H_0$.

  El nivel crítico se calcula después de obtener el valor del estadístico de contraste y representa el riesgo mínimo con el que se rechaza $H_0$.

*Violación de los supuestos en los contrastes de hipótesis:*

A continuación, se detalla de forma esquemática en qué situaciones se deben utilizar otras distribuciones asociadas a la normal.

Utilización de la distribución T-Student, en el contraste de μ

- Independencia: m.a.s. y población pequeña
- Normalidad: Si la muestra es grande no presenta serios problemas. Si la muestra es pequeña los contrastes unilaterales aumentan el error.

Por lo tanto, si la muestra es grande se realizará un contraste unilateral; si se utiliza la distribución t-student y no se puede asumir que la población es normal.

Utilización de la distribución T-Student, en el contraste de μ1 - μ2

- Independencia: Muy importante.
- Normalidad.
- Igualdad de varianzas.

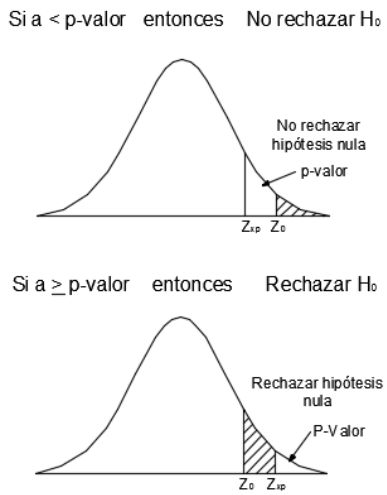
Utilización de la distribución Chi-Cuadrado ($\chi^2$), en el contraste $\sigma^2$

El supuesto de normalidad lleva consigo un error, que no es posible corregir aumentando el tamaño muestral.

Utilización de la distribución F-Snedecor en el contraste de $\sigma^2_1/\sigma^2_2$

No se puede usar si las poblaciones no son normales o los tamaños de las muestras no son grandes. Tampoco debe utilizarse si la independencia no es segura.

**El concepto de p-valor**




Cuando se realiza un contraste de hipótesis se sabe que a partir del nivel de significación se delimita la zona de aceptación y de rechazo.

En ocasiones es muy interesante calcular el nivel de significación a partir del cual la hipótesis nula $H_0$, se va a rechazar. Esta es la idea o concepto del p-valor, es decir,

$$p = P\left[|Z| > z_{\exp}\right].$$

El p-valor puede considerarse como el valor límite para que un contraste sea significativo, es decir, elegido un nivel de significación α, se rechazará $H_0$ si p ≤ α.

- Contraste de hipótesis para la media con varianza conocida
  Suponiendo una población Normal. Para realizar este contraste el estadístico mejor conocido es la media muestral,

$$\underline{X} \rightarrow N\ (\mu\ ,\ \sigma/\sqrt{n}).$$

Como ya se conoce su distribución, el estadístico de contraste será:

$$(\underline{x} - \mu) / (\sigma/\sqrt{n}) \quad \rightarrow \quad N\ (0\ ,\ 1).$$

Se podrá realizar tres tipos de contraste.
Presuponiendo que la hipótesis nula es cierta, se rechaza cuando:

A) $H_0 : \mu = \mu_0$ Rechazo $H_0$ si

$H_1 : \mu \neq \mu_0$ $$\left|\frac{\bar{X} - \mu_0}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}\right| > z_{\frac{\alpha}{2}}$$

B) $H_0 : \mu \leq \mu_0$ Rechazo $H_0$ si

$H_1 : \mu > \mu_0$ $$\left|\frac{\bar{X} - \mu_0}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}\right| > z_{\alpha}$$

C) $H_0 : \mu \geq \mu_0$ Rechazo $H_0$ si

$H_1 : \mu < \mu_0$ $$\left|\frac{\bar{X} - \mu_0}{\frac{\sigma}{\sqrt{n}}}\right| < -z_{\alpha}$$

En caso contrario se acepta la hipótesis nula.

- Contraste de hipótesis para la media con varianza desconocida y n>30
  Suponiendo una población Normal. Para realizar este contraste el estadístico mejor conocido es la media muestral, $\underline{X} \rightarrow N(\mu\ ,\ s/\sqrt{n})$ .

Como ya se conoce su distribución, el estadístico de contraste será:

$$(\underline{x} - \mu) / (s/\sqrt{n}) \quad \rightarrow \quad N\ (0\ ;\ 1\ ).$$

Tipos de contraste.
Presuponiendo que la hipótesis nula es cierta, se rechaza cuando:

A) $H_0 : \mu = \mu_0$ Rechazo $H_0$ si

$H_1: \mu \neq \mu_0$ $\qquad \left|\frac{\bar{X}-\mu_0}{\frac{S}{\sqrt{n}}}\right| > z_{\frac{\alpha}{2}}$

B) $H_0: \mu \leq \mu_0$ Rechazo $H_0$ si

$H_1: \mu > \mu_0$ $\qquad \left|\frac{\bar{X}-\mu_0}{\frac{S}{\sqrt{n}}}\right| > z_{\alpha}$

C) $H_0: \mu \geq \mu_0$ Rechazo $H_0$ si

$H_1: \mu < \mu_0$ $\qquad \left|\frac{\bar{X}-\mu_0}{\frac{S}{\sqrt{n}}}\right| < -z_{\alpha}$

En caso contrario se acepta la hipótesis nula.

- Contraste de hipótesis para la varianza

Suponiendo una población Normal. Para realizar este contraste el estadístico mejor conocido es la varianza muestral.

Como ya se conoce su distribución, el estadístico de contraste será:

$$\frac{(n-1)S^2}{\sigma^2} \rightarrow X^2_{n-1}$$

Aquí, la distribución del estadístico no es simétrica, luego se podrán realizar tres tipos de contraste, ahora teniendo en cuenta la no simetría.

Presuponiendo que la hipótesis nula es cierta, se rechaza cuando:

A) $H_0: \sigma^2 = \sigma^2_0$ Rechazo $H_0$ si

$H_1: \sigma^2 \neq \sigma^2_0$ $\qquad \frac{(n-1)S^2}{\sigma_0^2} \notin \left(X^2_{\frac{\alpha}{2}};\ X^2_{1-\frac{\alpha}{2}}\right)$

B) $H_0: \sigma^2 \leq \sigma^2_0$ Rechazo $H_0$ si

$H_1: \sigma^2 > \sigma^2_0$ $\qquad \frac{(n-1)S^2}{\sigma_0^2} > X^2_{\alpha}$

C) $H_0: \sigma^2 \geq \sigma^2_0$ Rechazo $H_0$ si

$H_1: \sigma^2 < \sigma^2_0$ $\qquad \frac{(n-1)S^2}{\sigma_0^2} < X^2_{1-\alpha}$

En caso contrario se acepta la hipótesis nula.

## 13. METODOLOGÍA PARA EL CONTROL DE LA EXACTITUD POSICIONAL HORIZONTAL EN LA CARTOGRAFÍA DIGITAL

La exactitud se define como la aproximación de los resultados de la observación o medida, cálculo o estimación, respecto a los valores reales (verdaderos) o aquellos considerados

verdaderos, ésta aproximación puede ser obtenida de una media de observaciones o por métodos considerados más precisos.

Desde el punto de vista estadístico, la precisión es una medida del agrupamiento de los datos obtenidos por repetición de una misma medida, respecto de una medida de centralidad como la media. La precisión sólo se ve afectada por la componente aleatoria, no tiene en cuenta los valores sistemáticos y por lo tanto no guarda relación con el valor real, pero sí está afectada por los valores groseros.

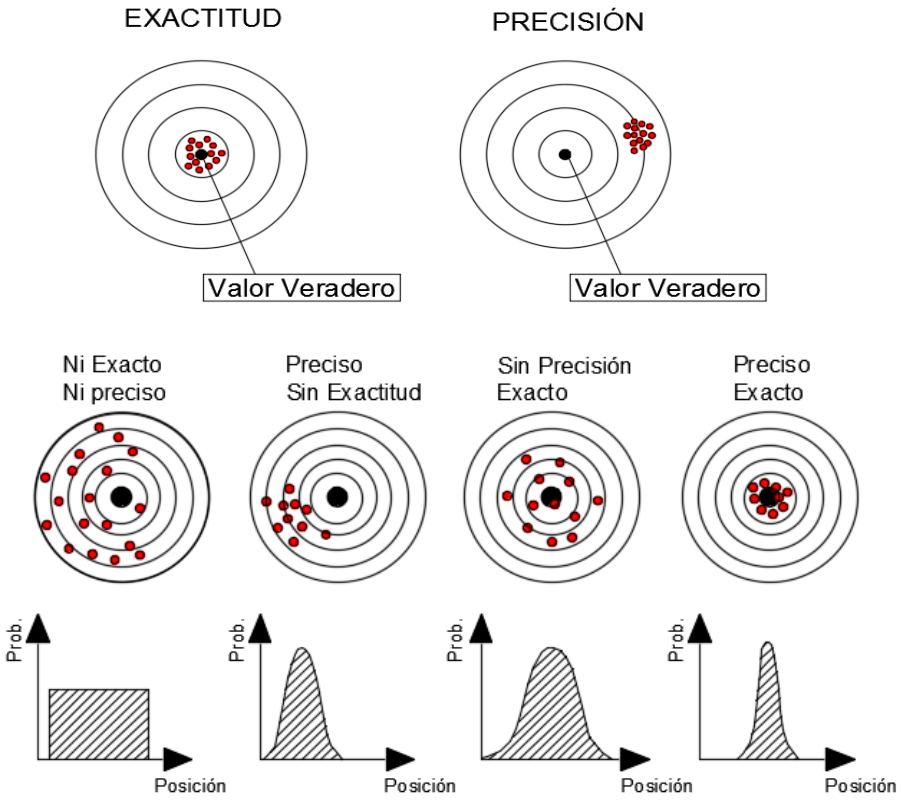



Figura 13.1

Ya que se ha comprobado que la mejor forma de distribución de errores que se ajusta a nuestra tarea es la distribución Normal N(0,1).

El tratamiento del comportamiento de los errores en cartografía , los SIG y la geomática , considera a las variables en estudio como los observables a estudiar (variables matemáticas numéricas en todo espacio real). Dichos observables estarán afectados en cierta medida de una componente sistemática a determinar y/o minimizar, y otra componente aleatoria o accidental. Es aquí donde se consideran las variables a estudiar como aleatorias para estudiarlas bajo los conceptos probabilísticos, conformando un conjunto muestral representativo de un universo mucho más grande (población).

Una vez obtenida la masa de datos:

## 13.1. Análisis de Correlatividad de las variables

Evaluar la relación entre dos variables de tipo continuo, independientes entre sí, es calcular el coeficiente de correlación entre ambas variables, es decir, se evalúa la tendencia de la relación entre ambas, generalmente lineal y para lo cual existen diversos estadísticos.

El primer paso que propone la metodología es el estudio de la correlación para lo cual se expone como primicia verificar el supuesto de que los datos siguen distribución normal; de ello depende el coeficiente a utilizar. Si se comprueba la normalidad de los datos se utiliza para el análisis el Coeficiente de Correlación de Pearson correspondiente a la vertiente paramétrica de las medidas de asociación y es calculable siempre que ambas variables se distribuyan normalmente (Rodríguez, 1984). Encontrándose su estadístico representado por la siguiente expresión:

$$\rho X, Y = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X \sigma_Y} = \frac{E\,[(\,X - \,\mu_X\,)\,(\,Y - \,\mu_Y\,)]}{\sigma_X \sigma_Y}$$

Donde:

$\sigma_{XY}$ es la covarianza de (X,Y)

$\sigma_X$ es la desviaciones típicas de la variable X

$\sigma_Y$ es la desviaciones típicas de la variable Y

De no comprobarse la normalidad de los datos se remite a la utilización del coeficiente de Spearman que representa la vertiente no paramétrica de las medidas de asociación (Bustillo, Acuña, Morena& Morales, 2003), siendo el estadístico ρ y está dado por la expresión:

$$\rho = 1 - \frac{6\,\sum d^2}{n\,(\,n^2 - 1\,)}$$

donde d es la diferencia entre los correspondientes estadísticos de orden x-y, y n el número de parejas.

Una vez obtenido el coeficiente adecuado en correspondencia con los datos a utilizar en el estudio, se interpretan los resultados donde valores próximos a 1 indicarán fuerte asociación lineal positiva. Valores próximos a -1 indican fuerte asociación lineal negativa. Valores próximos a 0 indicarán no asociación lineal, lo que no significa que no puede existir otro tipo de asociación, es decir, las variables serán independientes.(Universidad y Sociedad vol.8 no.4 Cienfuegos sep.-dic. 2016)

## 13.2. Determinación y Eliminación de Errores Groseros

A través de la estadística descriptiva se cuenta con recursos o herramientas para la detección de los errores groseros.

El filtrado de datos consiste en la eliminación de aquellas observaciones que presenten fuertes desvíos o errores aparentes Vi = li - $\underline{X}$ respecto de las medidas de tendencia central como la media aritmética.

La eliminación de observaciones se complica cuando se tiene un escaso número de observaciones ( n<10), ésto tiene su fundamento en que la teoría de errores de Gauss está basada en una número muy grande de observaciones, en cuyo caso, sí es posible eliminarlos mediante la expresión: $\varepsilon max = 3\sigma$

Teniendo también en cuenta la expresión de la desviación standard:

$$\sigma = \sqrt{\frac{(V_i)^2}{n-1}}$$

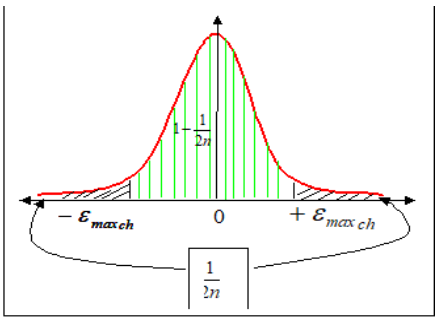
Se puede inferir que para un desvío Vi grande, el numerador queda potenciado por estar elevado al cuadrado, además de quedar dividido por un denominador pequeño con lo que el valor de $\sigma$ resulta de un valor exagerado y por ende $\varepsilon max$ . Por lo tanto no es posible eliminar una observación dudosa li, ni aún en el caso de que esté claramente afectada de error grosero: Vi < $\varepsilon max$ (Mingo,R y Ortiz Basualdo E.)

Se propone, para eliminar estos errores, ciertos filtros estadísticos como una solución ïnteligente.

Se tiene en primer instancia el criterio de Chauvenet, cuya flexibilidad permite salvar la incompatibilidad entre el sentido práctico y el rigor propuesto por $\varepsilon max = 3\sigma$.

Éste consiste en eliminar directamente la observación li cuyo error aparente Vi tenga una probabilidad inferior a (1/2n). De lo expuesto:

$$P_{\varepsilon=-\infty}^{\varepsilon=+\infty} - P_{-\varepsilon amx_{(CH)}}^{+\varepsilon max_{(CH)}} = \frac{1}{2n} \quad \because \quad P_{-\varepsilon amx_{(CH)}}^{+\varepsilon max_{(CH)}} = 1 - \frac{1}{2n}$$




Luego todas las observaciones que presenten desviaciones mayores que -+$\varepsilon$ serán eliminadas, para que de este modo asegurarnos mediciones libres de errores groseros.

Figura 13.2

Figura 13.2

Tabla donde se expresan los $\varepsilon_i$ en función de los $\sigma$.

| ε | $P_{-a}^{+a}$ | ε | $P_{-a}^{+a}$ | ε | $P_{-a}^{+a}$ | ε | $P_{-a}^{+a}$ | ε | $P_{-a}^{+a}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.0 σ | 0.00 | 0.7σ | 0.516 | 1.5σ | 0.866 | 2.3σ | 0.978 | 3.1σ | 0.998 |
| 0.1σ | 0.080 | 0.8σ | 0.576 | 1.6σ | 0.890 | 2.4σ | 0.984 | 3.2σ | 0.999 |
| 0.2σ | 0.158 | 0.9σ | 0.632 | 1.7σ | 0.911 | 2.5σ | 0.988 | 3.4σ | 0.9993 |
| 0.3σ | 0.236 | **σ** | **0.683** | 1.8σ | 0.928 | 2.6σ | 0.991 | **4σ** | **0.9999** |
| 0.4σ | 0.311 | 1.1σ | 0.729 | 1.9σ | 0.943 | 2.7σ | 0.993 | **∞** | **1** |
| 0.5σ | 0.383 | 1.2σ | 0.770 | **2σ** | **0.954** | 2.8σ | 0.995 | | |
| 0.6σ | 0.452 | 1.3σ | 0.806 | 2.1σ | 0.964 | 2.9σ | 0.996 | | |
| 0.675σ | 0.500 | 1.4σ | 0.838 | 2.2σ | 0.972 | **3σ** | **0.997** | | |

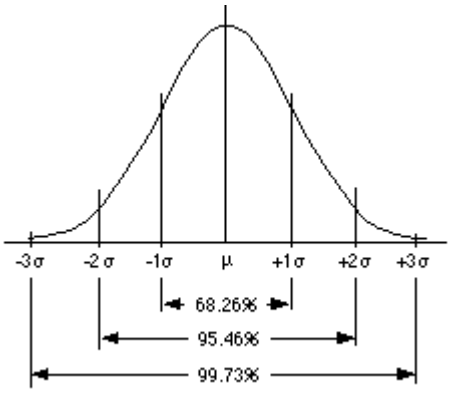



Figura 13.3

**Nota**: En el caso de que si existan errores sistemáticos**,** hay tratamientos numéricos estadísticos que además de la detección permiten la corrección de los mencionados errores. (ANEXO 1)

## 13.3. Determinación de Sesgos o Bias (sistematisismo)

Planteadas las variables aleatorias, será a través de (dependiendo el tamaño de muestra que se tenga) el test t-Student o de Kolmogorov-smirnov y Pruebas de Hipótesis Estadísticas, donde se plantean las hipótesis nulas o alternativas para aprobar o rechazar la posibilidad de que la muestra en estudio proviene o no de una población con distribución de normal N(0,1), es decir, se verifica si los errores siguen una distribución aleatoria o no y en caso de existir errores sistemáticos, se verifica si cumplen con los estándares.

Como las diferencias ( ΔX y ΔY) entre las coordenadas de puntos testigos medidos con gran precisión en el terreno y las coordenadas de esos puntos homólogos leídos de la carta.

La hipótesis se expresa como:

$H_0 : \mu = \mu_0$ Hipótesis Nula

$H_0 : \mu \neq \mu_0$ Hipótesis Alternativa

Donde:

$\mu_0 = dato$

$\alpha =$ *Nivel de significación. Es la probabilidad de rechazar la hipótesis nula, siendo ésta verdadera (Error Tipo I)*

$1-\alpha =$ *Grado de confiabilidad*

$$t_x = \frac{\overline{e_x}\sqrt{n}}{s_x}$$

Donde:

$$\overline{e_x} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} e_{xi} ; e_{xi} = Xt_i - Xm$$

$$s_x = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}\left(e_i - \overline{e_x}\right)^2}$$

Si se verifica que:

$t_x \leq t_{n-1,\alpha/2}$ entonces se acepta hipótesis nula

## 13.4. Control de Precisiones Horizontales

Una vez tratados los datos de errores groseros y sistematismos, se puede determinar por medio de los test de hipótesis estadísticas (test de la Chi2) si la carta cumple o no con determinada precisión pre-establecida ($\sigma_0$), para aceptar o rechazar hipótesis nula.

Así:

Donde:

$H_0 : \sigma \leq \sigma_0$ Hipótesis Nula

$H_1 : \sigma > \sigma_0$ Hipótesis Alternativa

$\sigma_0 = dato,\ tolerancia$

$\alpha =$ *Nivel de significación. Es la probabilidad de rechazar la hipótesis nula, siendo ésta verdadera (ErrorTipo I)*

$$\chi^2{}_x = \frac{s^2{}_{x(n-1)}}{\sigma^2{}_x}$$

Donde:
$\sigma_x = \sigma_0$ es la varianza máxima aceptable para el error

Si se verifica que:

$\chi^2{}_x \leq \chi^2{}_{n-1,\alpha}$ entonces se acepta la hipótesis nula, cumpliéndose con el estandar

Si se acepta la hipótesis nula , la carta cumple con la precisión preestablecida.

## 13.5. Cálculo de la Precisión Media

Se determina un valor general medio de la precisión horizontal del mapa en estudio.

Para el tratamiento estadístico del error planimétrico de los puntos se los puede considerar como unidimensionales o como una combinación de las probabilidades lineales en dos dimensiones. Desde este punto de vista, el error sigue una distribución normal circular transformando una elipse de error en un círculo de error del 95%, por ser la distribución en X e Y es bivariable normal teniendo en cuenta que las variables son independientes ( Cov = 0, (coef. de correlación) = 0).

Luego se pueden plantear dos situaciones , según lo expresa el Ing. F. Barbato en su trabajo "Control de Precisión Posicional de la Cartografía de Base de la Intendencia Municipal de Montevideo-Uruguay"

- Si la carta cumple con los condicionantes de precisiones preestablecida
- Si la carta no cumple con los condicionantes de precisiones preestablecida

Para la primera situación, la precisión general media estará dada según lo establecido en la normas de la FGDC ( Federal Geographic Data Committee) en su Cap.3 apéndice 3ª. ( Caso 2 : Error standar circular cuando RMSEx≠RMSEy) , siempre que RMSEmin/RMSEmax esté entre 0.6 y 1.

RMSEr = 2.4477 * 0.5 * (RMSEx + RMSEy)

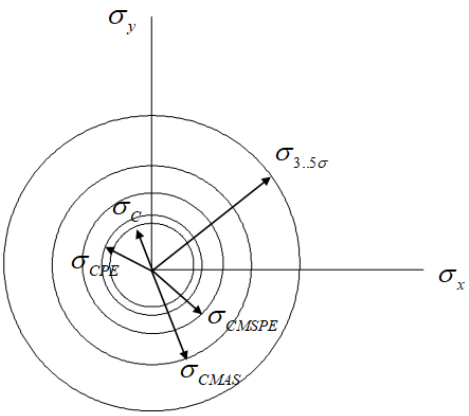
$$f_{(r)} = \frac{r}{\sigma^2} e^{(-\frac{r^2}{2\sigma^2})} \qquad (1)$$

La distribución de densidad o la distribución de probabilidades será:

De aquí se pueden "establecer las probabilidades de los diversos círculos, lo que permite visualizar con más claridad la relación entre las probabilidades y las desviaciones a las que corresponden.

| Diversas definiciones de errores circulares y sus probabilidades correspondientes | | |
|---|---|---|
| **Nombre** | **Probabilidad** | **Desviación** |
| Error circular estandar (CSE) | 39.35% | 1.0 |
| Error circular probable (CPE) | 50 % | 1.1774 |
| Error circular medio (CMSPE) | 63.21 % | 1.4142 |
| Estandar de exactitud circular del mapa (CMAS) (*) | 90 % | 2.1460 |
| Error 3.5 sigma | 99.78 % | 3.5 |

(*) Puede computarse también para una probabilidad del 95% y una desviación de 2.447$\sigma$




En el segundo caso, donde la precisión de la carta no alcanzó lo estipulado por las necesidades del usuario, se calcula una "precisión umbral media" ($\sigma_u$) de la carta ,la que será de gran utilidad para evaluar y catalogar el documento en estudio según Clase I, II y III, según los estándares de la FGDC. Así si tomamos una muestra aleatoria de una población de media $\mu$ y desviación estándar $\sigma$, y la distribución teórica del muestreo se aproxima bastante a una curva normal, se puede decir que la variable aleatoria estandarizada, normalizada o tipificada de $\Delta$x vale

$$Z = \frac{\Delta \overline{X} \sqrt{n}}{\sigma_u} \qquad \therefore \qquad \sigma_u = \frac{\Delta \overline{X} \sqrt{n}}{Z}$$

# 14. NORMALIZACIÓN Y CALIDAD

## 14.1. Definición

Se define a la calidad como la propiedad o conjunto de propiedades inherentes a una cosa que permiten apreciarla como igual, mejor o peor que las restantes de su especie. La calidad cartográfica se determina por el uso que se le da a la información.

Los errores e inconsistencias de los mapas fuente no eran evidentes antes de el uso de las computadoras para procesar, analizar y tomar decisiones basados en dicha información. Sin embargo, ahora el procesamiento digital a través de los SIGs ha puesto al descubierto las debilidades de los datos y la necesidad de utilizar normas y estándares para documentar tanto su calidad como la de los productos obtenidos a partir de ellos.

## 14.2. Introducción a la Normalización y Calidad de la Carta

La aparición en escena de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) han revolucionado las técnicas de manejo de datos espaciales. Esta herramienta que en sus primeros momentos fuera diseñada para el inventario y la administración de la ocupación del suelo en grandes zonas de Canadá (1964), encuentra hoy aplicación en una gran variedad de ambientes (municipalidades, catastros, manejo de recursos naturales, redes de servicios etc.).

Enmarcados en el concepto que los GIS manejan datos geográficos, constituidos por una componente gráfica y otra alfanumérica, cada una de ellas tiene requerimientos propios y especiales en cuanto a la determinación de parámetros de calidad, cuestión a tener muy en cuenta en el tratamiento de tales datos geográficos y los análisis propuestos por éstos sistemas de información.

**Conceptos a tener en cuenta:**

Exactitud o fidelidad: expresa la diferencia entre el valor de la realidad y la medición realizada.

Resolución: refiere al objeto más pequeño que se puede representar en los datos.

Detección: expresa la capacidad del usuario para distinguir dos objetos en un producto analógico o digital; con frecuencia se asume como dos veces el valor de la resolución (Fisher, 1991).

Escala: representa la relación entre el tamaño de los objetos en el mundo real y su tamaño en un mapa analógico.

La calidad de un producto es aquella requerida por el usuario para un determinado uso. En un SIG esta definición puede operacionalizarse a través del concepto de exactitud o fidelidad; En estadística esto es igual al valor real menos el valor estimado y se conoce como error.

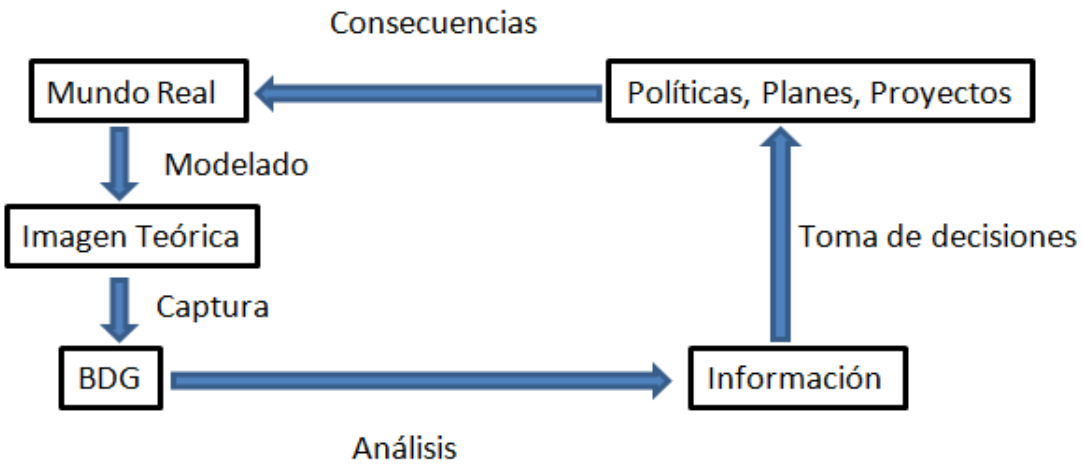



Figura 14.1

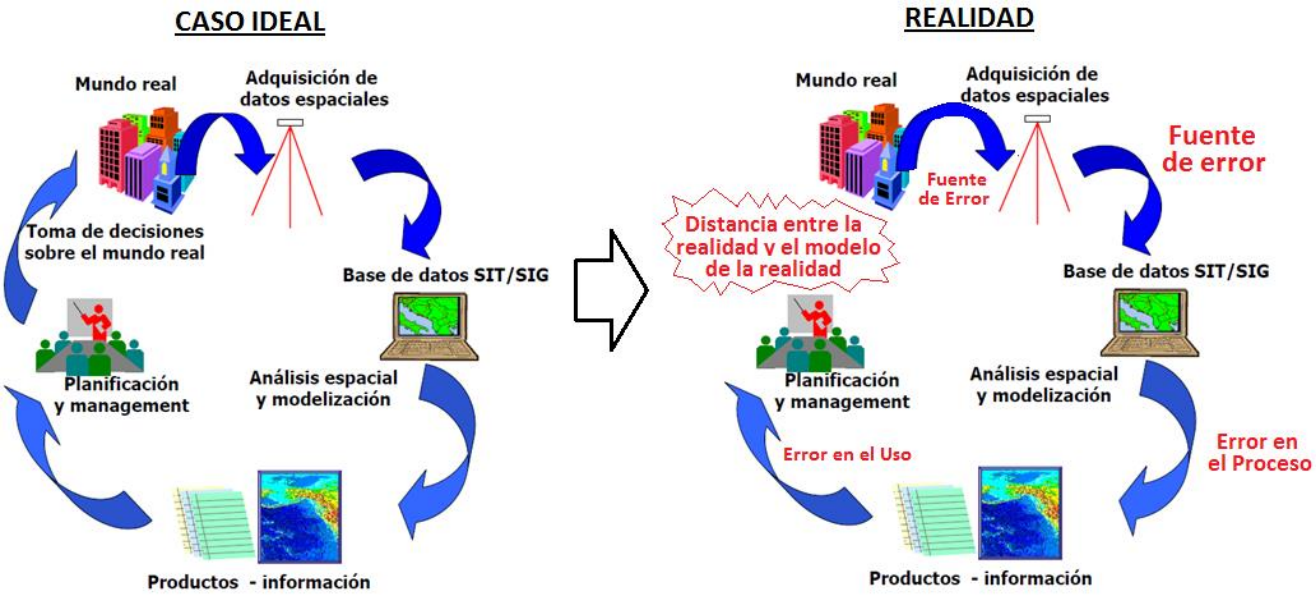



Figura 14.2

ISO: Organización Internacional de Normalización que, a través del Comité Técnico 211 (TC211), se encarga de normalizar todos los aspectos relativos a la Información Geográfica Digital mediante la definición de normas.

Tales normas especifican modelos, métodos, herramientas y servicios para la gestión, adquisición, procesamiento, análisis, acceso, presentación y transferencia de datos geográficos digitales entre diferentes usuarios, sistemas y localizaciones.

En el caso de la familia ISO 19100 las normas que abordan esta temática de una manera específica son:

# 15. NORMAS DE CALIDAD POSICIONAL ISO 19100

**ISO 19113: Información Geográfica – Principios de la calidad.**

**ISO 19114: Información Geográfica – Procedimientos de evaluación de la calidad.**

**ISO 19138: Información Geográfica – Medidas de la calidad.**

Estos tres documentos presentan un objetivo común: normalizar los aspectos relativos a la identificación, evaluación y descripción de la calidad de la IG en aras a: dar transparencia y posibilidad de comparación, evitar informaciones ambiguas y facilitar la elección y uso adecuado de los productos. Es decir, se trata de unas normas que pretenden facilitar el entendimiento inequívoco entre productores y usuarios de este tipo de información, facilitando la comercialización, difusión y el uso eficientes de la IG. Informar sobre la calidad supone:

- Identificar los factores relevantes: Sobre qué informar.
- Evaluar con métodos adecuados: Cómo evaluar cada factor.
- Cuantificar adecuadamente y de forma comparable: Qué medidas usar.
- Describir adecuadamente todos los aspectos: Cómo informar (estructura, reglas, etc.).

Lo anterior permite al productor establecer unas especificaciones de la calidad claras para sus productos e, igualmente, validarlos frente a esas especificaciones. De manera similar, para el usuario disponer de información relevante sobre la calidad de unos datos geográficos significa poder seleccionar los productos (BDG) y servicios según sus necesidades.

## 15.1. ISO 19113 – Principio de Calidad

**Introducción:**

El objetivo de esta norma es establecer los principios para describir la calidad de un conjunto de datos, e informar sobre la misma. Por tanto tiene una gran importancia para los productores, que son los que deben generar esta información, pero también para los usuarios, que son los que han de decidir en función de ella.

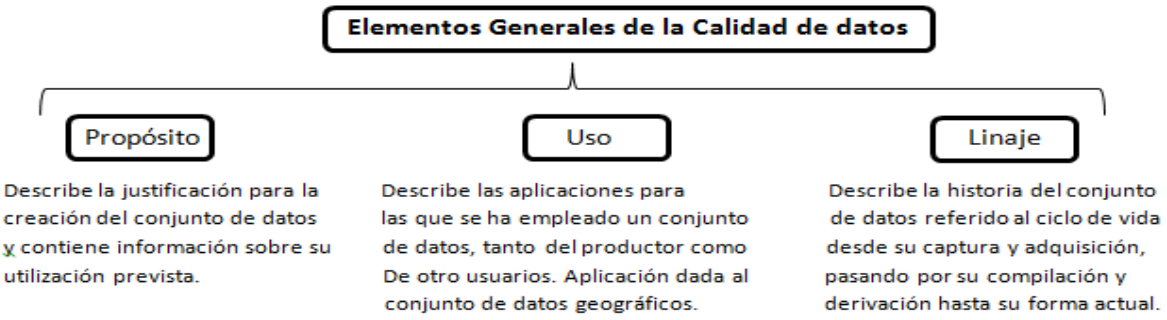
La calidad tiene aspectos cualitativos o descriptivos, lo que la norma denomina información no cuantitativa y aspectos cuantitativos, que se concretan en elementos de la calidad.

- Información no cuantitativa de la calidad: Es información de carácter general, de gran interés para conocer el objetivo e historial de una información, así como para considerar otros posibles usos en aplicaciones distintas a las consideradas comúnmente. Esto se describe mediante los denominados “elementos generales de la calidad” (Data Quality Overview Elements).

- Información cuantitativa de la calidad: Se considera que hay aspectos del comportamiento de una BDG que pueden ser medidos. Esta información se describe mediante los denominados

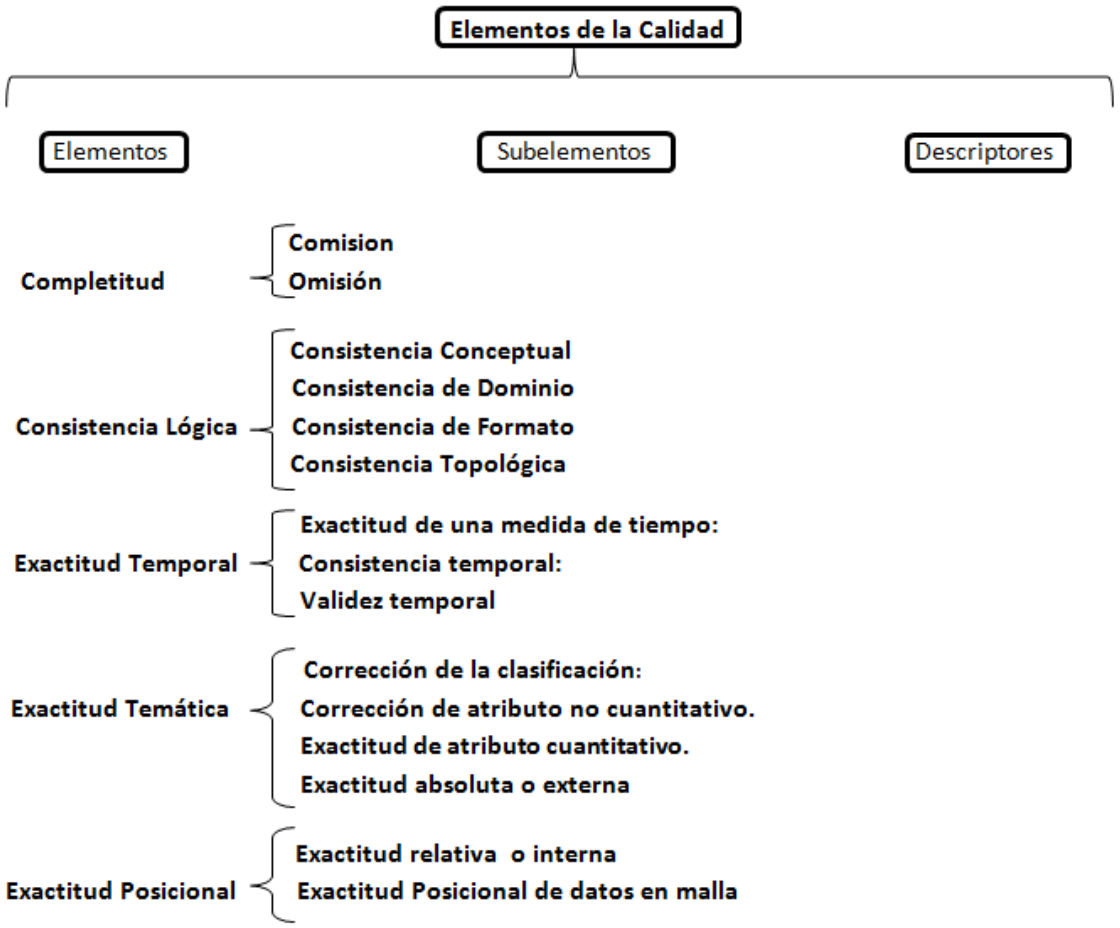
"elementos de la calidad" (Data Quality Elements), que vienen a ser los denominados tradicionalmente como componentes de la calidad del dato geográfico.

**Elementos generales de la calidad** (Información no cuantitativa)




**Elementos de la calidad** (Información cuantitativa)

La calidad sobre la información de la calidad puede incluir una medida de confianza




- <u>Compleción</u>: Describe los errores de omisión/comisión en los elementos, atributos y relaciones.

- Consistencia lógica: Adherencia a reglas lógicas del modelo, de la estructura de datos, de los atributos y de las relaciones.

- Exactitud posicional: Exactitud alcanzada en la componente posicional de los datos.

- Exactitud temporal: Exactitud alcanzada en la componente temporal de los datos.

- Exactitud temática: Exactitud de los atributos cuantitativos o no cuantitativos y de la corrección de las clasificaciones de los elementos y de sus relaciones.

Para cada uno de los elementos anteriores se establecen unos subelementos que permiten concretar el aspecto de la calidad al que refieren los mismos. Los suplementos considerados por la norma son:

- Compleción: Comisión y omisión, es decir, la presencia en la BDG de elementos que no deberían estar presentes o la ausencia de otros que si deberían estarlo.

- Consistencia lógica: Consistencia conceptual, de dominio, de formato, topológica. En este caso hay un modelo "lógico" cuyas reglas se violan con: valores fuera de dominio, registros que no se adhieren al formato establecido, o relaciones no consideradas en el modelo o la topología.

- Exactitud posicional: Exactitud externa o absoluta, interna o relativa, exactitud para datos en malla. La exactitud absoluta es la proximidad entre los valores de coordenadas indicados y los valores verdaderos o aceptados como tales. La exactitud relativa se refiere a las posiciones relativas de los objetos de un conjunto de datos y sus respectivas posiciones relativas verdaderas o aceptadas como verdaderas. La exactitud posicional de datos en malla es la proximidad de los valores de posición de los datos en estructura de malla regular a los valores verdaderos o aceptados como verdaderos.

- Exactitud temporal: Exactitud de la medida del tiempo, consistencia temporal, validez temporal. Hace referencia a la corrección de: las referencias temporales asignadas a un elemento (informe del error en la medida del tiempo asignado), los eventos o secuencias ordenadas, si se indican, y a la validez de los datos respecto al tiempo.

- Exactitud temática: Corrección de la clasificación, corrección de los atributos cualitativos, exactitud de los atributos cuantitativos. Por tanto, se observan dos niveles distintos de corrección, el de las clases y el de los atributos, con distinción de si éstos últimos son cualitativos o cuantitativos.

Cada uno de estos subelementos se registra con un paquete de seis descriptores obligatorios que informan sobre las medidas:

- Ámbito: Se debe identificar al menos un ámbito de la calidad por cada subelemento aplicable. El ámbito puede ser una serie de conjuntos de datos, a la que pertenece el conjunto de datos, el propio conjunto de datos, o una a agrupación más pequeña de datos, localizados físicamente en el conjunto y que comparten unas características comunes. Si no se puede identificar un ámbito, éste debe ser el conjunto de datos. Como ámbito se pueden utilizar: tipos de objetos, temas, extensiones espaciales o temporales, etc.

- Medida: Para cada ámbito de la calidad se debe proporcionar una medida de la calidad. La medida debe describir brevemente y denominar, si el nombre existe, el tipo de prueba a aplicar a los datos especificados por el ámbito; también debe incluir los valores límite de los parámetros.

- Procedimiento de evaluación: Para cada medida se debe proporcionar un procedimiento de evaluación de la calidad. Éste siempre debe describir, o referenciar documentación que describa la metodología empleada para aplicar cada medida a los datos especificados por su ámbito, debiendo incluir un informe de la metodología.

- Resultado: Se debe proporcionar un resultado por cada medida. El resultado de la calidad puede ser un valor o conjunto de valores numéricos o el resultado de evaluar el valor, o conjunto de valores, obtenidos frente a un nivel de conformidad especificado como aceptable.

- Tipo del valor: Se debe especificar un tipo, éste se corresponderá con algunas de las tipologías (p.e. byte, entero, real, etc.).

- Unidad del valor: Si procede, se debe proporcionar una unidad del valor para cada resultado de la calidad de datos. Así, las unidades correspondientes a una incertidumbre posicional podrán ser: metros [m], decímetros [dm], centímetros [cm], milímetros [mm], etc.

- Fecha: Se debe proporcionar una fecha para cada medida, lo cual se realizará en conformidad con los requisitos del modelo temporal de la Norma ISO 19108.

Método sugerido en ISO 19113 para el reporte de información cuantitativa sobre calidad como metadatos:

## 15.2. ISO 19114 – Procedimientos para la evaluación de la calidad.

**Introducción:**

**Proceso para la evaluación de la calidad de los datos**

El objetivo de esta norma es establecer un marco para la evaluación de la calidad y para informar sobre esa evaluación. Para esta norma la evaluación de la calidad consiste en la

obtención de un(os) índice(s) de la calidad de un producto. Esta indicación podría ser cuantitativa o no.

| PASOS DEL PROCESO | ACCIÓN | DESCRIPCIÓN |
|---|---|---|
| **PASO 1** | IDENTIFICAR:<br>-Elemento y Subelemento de calidad aplicable, objeto y campo de aplicación. | Serán sometidos a prueba, identificación conforme a los requerimientos de la norma ISO 19113. Esto se repite para todas las diferentes pruebas que sean requeridas por la especificación de producto cartográfico o los requisitos del usuario. |
| **PASO 2** | IDENTIFICAR:<br>- Medida de calidad. | IDENTIFICAR (para cada prueba):<br>- Medida de Calidad.<br>- Tipo del valor.<br>- Unidad de medida. |
| ***PASO 3** | SELECCIONAR Y APLICAR:<br>- Método de evaluación de la calidad de los datos. | SELECCIONAR:<br>- Método adecuado para la evaluación de.la calidad de los datos para cada medida que se haya identificado. |
| **PASO 4** | DETERMINAR:<br>- Resultado de calidad de los datos. | APLICACIÓN DEL MÉTODO RESULTADO CUANTITATIVO:<br>- Valor.<br>-Conjunto de valores.<br>-Unidad de Medida.<br>- Fecha de prueba. |
| **PASO 5** | DETERMINAR:<br>- Conformidad. | ESPECIFICANDO UN NIVEL DE CONFORMIDAD DE CALIDAD:<br>- Especificación del producto o usuario.<br>- El resultado de calidad de los datos se compara con dicho nivel para determinar la conformidad.<br>- Conformidad (conforme/no conforme) es la comparación del resultado cuantitativo con un nivel de conformidad para la calidad. |

*** PASO 3: Clasificación de los métodos de evaluación de la calidad de los datos**

**Métodos de evaluación de la calidad.**

- ❖ MÉTODO DIRECTO DE EVALUACIÓN
- Interno
- Externo

Los métodos directos son aquellos que se basan en la comparación o medida y se dividen en internos y externos. En el primer caso sólo se utilizan datos de la propia BDG, es el caso de comprobaciones como la de consistencia lógica de carácter topológico. Los métodos externos necesitan fuentes externas a la BDG, como por ejemplo para el caso de un topónimo la comprobación otra fuente más exacta o la salida a campo para consultar a los lugareños. Dentro de esta alternativa de métodos directos existen procesos plenamente automatizables, que permiten lo que se denomina una inspección o control al 100%. No obstante son muchos los elementos de la calidad que requieren procesos de control, lo cual lleva al uso de técnicas de muestreo o inspección como en las normas ISO 2859 e ISO 3159.

- ❖ MÉTODO INDIRECTO DE EVALUACIÓN
- Propósito
- Linaje
- Uso

Los métodos indirectos se basan en estimaciones e informaciones relacionadas con la BDG pero con fuentes distintas a los propios datos de la BDG bajo consideración, en este caso no se realiza medición o cuantificación alguna. Estos métodos indirectos pueden estar al alcance de los usuarios avezados, dado que en muchos casos se trata de interpretaciones basadas en la experiencia. Si los metadatos son adecuados darán buena información. En este sentido, el linaje y otras informaciones que presenten ejemplos de uso, o los productos derivados del producto que se referencia, serán datos de gran valor, y de ello se encarga la norma ISO 19115.

**Elementos y subelementos comprobados por medios autorizado.**

- ❖ CONSISTENCIA LÓGICA
- Consistencia del formato.
- Consistencia topológica.
- Consistencia de dominio.

- ❖ COMPLETITUD
- Omisión.
- Comisión.

- ❖ EXACTITUD TEMPORAL
- Consistencia temporal.

ISO 19114 incluye un informe de evaluación de la calidad que debe usarse en los siguientes casos:

- ❖ Cuando los resultados de la evaluación de la calidad se informan en los metadatos usando el tipo “pasa/falla”.
- ❖ Cuando se generan resultados de evaluación del tipo agregado.
- ❖ Cuando se informa sobre la calidad de la calidad.

En cualquier caso se puede generar este informe, siempre que se desee, para dar mayor información pero nunca como sustituto del informe de metadatos.

Junto a la metodología de evaluación, otro de los intereses fundamentales de la norma consiste en asegurar una base estadística adecuada al proceso, al objeto de alcanzar resultados representativos para la calidad, y por ello dedica algunos de sus epígrafes a los muestreos. En esta parte, la norma internacional ISO 19114 hace referencia a las normas ISO 2859 e ISO 3951, en el sentido de que pueden ser aplicadas a los muestreos para evaluar la conformidad frente a una especificación de producto.

## 15.3. ISO 19138 – Medidas de la calidad

**Introducción:**

El objetivo de esta norma internacional es la normalización de las componentes y estructuras de las medidas de calidad de datos mediante la creación de un registro de medidas de calidad de datos usadas regularmente.

**Componentes Técnicos**

La manera de normalizar las medidas es establecer un conjunto o selección de ellas y dotarlas de unas especificaciones que las definan de manera inequívoca, a estas especificaciones se las denomina en la norma “componentes técnicos” y son los siguientes:

- Nombre: Es el que se da a la medida. Si ya existe uno asumido es el que se debe usar, en otro caso se ha de proponer uno adecuado.

- Alias: Se refiere a otro nombre o abreviatura reconocidos para la referirse a la medida. Se puede dar más de un alias.

- Elemento de la calidad del dato: El que corresponda según ISO 19113.

- Subelemento de la calidad del dato: El que corresponda según ISO 19113.

- Medida básica: Referencia a la medida básica que es de aplicación en este caso y según son establecidas por esta propia norma.

- Definición: Determina el concepto fundamental de la medida.

- Descripción: Describe la medida y sus métodos de cálculo, incluyendo fórmulas, figuras, definición de los tipos de error en los que se basa, etc.

- Parámetro: Variable auxiliar a utilizar por la medida, se puede incluir nombre, definición, descripción, etc. Se puede necesitar uno o varios (p.e. el parámetro de la tolerancia para los *overshoots/undershoots*).

- Tipo de valor: Se refiere a la tipología del dato que ha de soportar el resultado (booleano, byte, entero, doble, etc.).

- Estructura: Se refiere a la estructura que debe utilizarse para informar sobre el resultado de la calidad, ésta puede ser un dato único, un vector, una matriz, o cualquier otra.

- Fuente: Referencia o cita a la(s) fuente(s) bibliográfica sobre la medida de la calidad.

- Ejemplo: Ejemplo(s) de aplicación de la medida y de su resultado.

- Identificador: Valor entero que actúa como identificador único de la medida en un sistema de registro como ISO 19135.

Existen componentes optativos y también condicionados al uso previo de algún otro.

Un aspecto importante de esta norma es que define lo que se denomina “medidas básicas” de la calidad del dato. Éstas se introducen para evitar la repetición en la definición de conceptos y evitar así problemas y ambigüedades. De esta manera sirven como base para el desarrollo de todas las medidas concretas posibles que se pueden utilizar.

Se relacionan con dos formas de trabajo muy propias del control de calidad como son:

- Conteo de errores: Se expresan mediante medidas de conteo. Son aquellas que cuentan el número de errores (defectos) o casos correctos. Son adecuadas para los aspectos de la calidad en los que la medida es el conteo de ocurrencias de una circunstancia (error). La siguiente tabla presenta el conjunto de medidas básicas de conteo que se proponen.

**Medidas de Conteo**

| | | |
|---|---|---|
| Indicador de error | Indica que un ítem tiene error | Verdadero (booleano) |
| Indicador de corrección | Indica que un ítem es correcto | Falso (Booleano) |
| Casos de error | Indica el número de casos que poseen un error de una tipología dada | 5 (Entero) |
| Casos correctos | Indica el número de casos libres de un error concreto | 111 (Entero) |
| Tasa de error | Número de elementos erróneos frente al total de esos elementos | 0.11; 11%; 11:100 (real, porcentaje, ratio) |
| Tasa de elementos correctos | Número de elementos correctos frente al total de esos elementos | 0.21; 21%; 21:100 (real, porcentaje, ratio) |

- Estimación de la incertidumbre: Se expresa mediante medidas de incertidumbre. Son aquellas que se basan en modelos estadísticos sobre la incertidumbre en las medidas y son adecuadas para los aspectos medibles. La siguiente tabla recoge las medidas básicas de la incertidumbre que establece la norma ISO 19138. En esta tabla se indica el número de dimensiones a las que es aplicable (1D, 2D, y 3D), la probabilidad o nivel

de confianza que conlleva la medida de incertidumbre, la formulación matemática de la medida, y el nombre propuesto para cada una de ellas.

**Medidas de Incertidumbre**

| Dimensión | Probabilidad | Medida básica | Nombre | Tipo del valor |
|---|---|---|---|---|
| 1D | 50.0% | $0.6745\ \sigma_z$ | LE50(r) | Medida |
| 1D | 68.3% | $1.0\ \sigma_z$ | LE68.3(r) | Medida |
| 1D | 90.0% | $1.645\ \sigma_z$ | LE90(r) | Medida |
| 1D | 95.0% | $1.960\ \sigma_z$ | LE95(r) | Medida |
| 1D | 99.0% | $2.576\ \sigma_z$ | LE99(r) | Medida |
| 1D | 99.8% | $3.0\ \sigma_z$ | LE99.8(r) | Medida |
| 2D | 39.4% | $\frac{1}{\sqrt{2}}\sqrt{\sigma_x^2+\sigma_y^2}$ | CE39.4 | Medida |
| 2D | 50.0% | $\frac{1.1774}{\sqrt{2}}\sqrt{\sigma_x^2+\sigma_y^2}$ | CE50.0 | Medida |
| 2D | 90.0% | $\frac{2.146}{\sqrt{2}}\sqrt{\sigma_x^2+\sigma_y^2}$ | CE90.0 | Medida |
| 2D | 95.0% | $\frac{2.4477}{\sqrt{2}}\sqrt{\sigma_x^2+\sigma_y^2}$ | CE95.0 | Medida |
| 2D | 99.8% | $\frac{3.5}{\sqrt{2}}\sqrt{\sigma_x^2+\sigma_y^2}$ | CE99.8 | Medida |
| 3D | 50.0% | $0.51\ (\sigma_x+\sigma_y+\sigma_z)$ | Error probable esférico (SEP) | Medida |
| 3D | 61.0% | ${\sigma_x}^2+{\sigma_y}^2+{\sigma_z}^2$ | Error radial medio esférico (MRSE) | Medida |
| 3D | 90.0% | $0.833\ (\sigma_x+\sigma_y+\sigma_z)$ | Estándar de exactitud esférica al 90%. | Medida |
| 3D | 99.0% | $1.122\ (\sigma_x+\sigma_y+\sigma_z)$ | Estándar de exactitud esférica al 99%. | Medida |

Al igual que en los casos anteriores, esta norma se completa con anexos de gran valor. Destaca en anexo D dedicado a desarrollar más de 70 medidas de diversa índole (conteo, incertidumbre, posición, tema, coherencia, etc.). El listado de las mismas es el que se incluye en la tabla que se muestra a continuación. Para cada una de esta medidas se especifican todos los componentes técnicos, tal y como se realiza en la Tabla 1.1 para un ejemplo sacado de la lista anterior. Este listado es interesante dado que con el amplio abanico que presenta seguro que va a permitir utilizar directamente alguna de las propuestas que contiene.

## Medidas propuestas en la norma ISO 19138

| Nombre | Elemento | Subelemento | Medida Básica |
|---|---|---|---|
| Ítem sobrante | Compleción | Comisión | Indicador de error. |
| Número de Items sobrantes | Compleción | Comisión | Contador de errores |
| Ratio de items sobrantes | Compleción | Comisión | Tasa de error |
| Número de instancias duplicadas | Compleción | Comisión | Contador de errores |
| Ítem faltante | Compleción | Omisión | Indicador de error |
| Número de ítems faltantes | Compleción | Omisión | Contador de errores |
| Ratio de ítems faltantes | Compleción | Omisión | Tasa de error |
| No cumplimiento del modelo. | Consistencia Lógica | Consistencia conceptual | Indicador de error |
| Conceptual | | | |
| Cumplimiebto del modelo conceptual | Consistencia Lógica | Consistencia conceptual | Indicador de Corrección |
| Número de ítems que no cumplen las reglas del modelo conceptual. | Consistencia Lógica | Consistencia conceptual | Contador de errores |
| Número de superposiciones no válidas entre superficies | Consistencia Lógica | Consistencia conceptual | Contador de errores |
| Ratio de no cumplimiento respecto a las reglas del modelo conceptual | Consistencia Lógica | Consistencia conceptual | Tasa error |
| No conformidad del valor-dominio | Consistencia Lógica | Consistencia de dominio | Indicador de error |
| Ratio de no conformidad valor-dominio | Consistencia Lógica | Consistencia de dominio | Indicador de corrección |
| Conflicto de estructura física | Consistencia Lógica | Consistencia de dominio | Contador de errores |
| Tasa de conflictos de estructura física | Consistencia Lógica | Consistencia de formato | Tasa de error |
| Número de fallos con conexión punto curva | Consistencia Lógica | Consistencia topológica | Contador de errores |
| Tasa de fallos en conexión punto curva | Consistencia Lógica | Consistencia topológica | Tasa de error |
| Número de conexiones faltantes por undershoots | Consistencia Lógica | Consistencia topológica | Contador de errores |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Número de conexiones faltantes por un overshoots | Consistencia Lógica | Consistencia topológica | Contador de errores |
| Número de polígonos astilla no válidos | Consistencia Lógica | Consistencia topológica | Contador de errores |
| Número de errores de auto intersecciones | Consistencia Lógica | Consistencia topológica | Contador de errores |
| Número de errores de auto superposiciones | Consistencia lógica | Consistencia topológica | Contador de errores |
| valor de incertidumbre posicional (iD, 2D, 3D) | Exactitud posicional | Absoluta o externa | No aplicable |
| Valor medio de incertidumbre posicional excluyendo outliers (2D) | Exactitud posicional | Absoluta o externa | No aplicable |
| Número de incertidumbres | Exactitud posicional | Absoluta o externa | Contador de errores |
| Ratio de incertidumbres posicionales sobre una tolerancia | Exactitud posicional | Absoluta o externa | No aplicable |
| Matriz de covarianzas | Exactitud posicional | Absoluta o externa | No aplicable |
| Error lineal probable | Exactitud posicional | Absoluta o externa | LEP50.0 o LE50.0(r) |
| Error lineal estándar | Exactitud posicional | Absoluta o externa | LE68.3 o LE68.3(r) |
| Exactitud lineal al 90% de significación | Exactitud posicional | Absoluta o externa | LE90 o LE90(r) |
| Exactitud lineal al 90% de significación | Exactitud posicional | Absoluta o externa | LE90 o LE90(r) |
| Exactitud lineal al 95% de significación | Exactitud posicional | Absoluta o externa | LE95 o LE95(r) |
| Exactitud lineal al 99% de significación | Exactitud posicional | Absoluta o externa | LE99 o LE99(r) |
| Error lineal casi cierto | Exactitud posicional | Absoluta o externa | LE99.8 o LE99.8(r) |
| Raíz del error cuadrático medio | Exactitud posicional | Absoluta o externa | No aplicable |
| Error absoluto lineal al 90% de significación de datos verticales con sesgo | Exactitud posicional | Absoluta o externa | No aplicable |
| Desviación circular estándar | Exactitud posicional | Absoluta o externa | CE39.4 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| Error circular probable | Exactitud posicional | Absoluta o externa | CE50 |
| Error circular estándar | Exactitud posicional | Absoluta o externa | CE90 |
| Error circular al 95% de significación | Exactitud posicional | Absoluta o externa | CE95 |
| Error circular casi cierto | Exactitud posicional | Absoluta o externa | CE99.8 |
| Raíz del error cuadrático medio planimétrico | Exactitud posicional | Absoluta o externa | No aplicable |
| Error absoluto circular al 90% significación de datos con sesgo | Exactitud posicional | Absoluta o externa | No aplicable |
| Elipse de incertidumbre | Exactitud posicional | Absoluta o externa | No aplicable |

### 15.4. Conclusiones de Normas ISO 19113 – 19114 - 19138

Se dispone de un conjunto de tres normas relativas a la calidad para la información geográfica que se centran en los aspectos complementarios y relativos a:

- Identificar factores relevantes
- Evaluar
- Medir
- Informar.

Son tres normas abstractas generales, que dejan algunos aspectos de la información geográfica sin tratar. Pero permiten que cada quien las amplíe según sus necesidades. Cabe aclarar que estas normas no establecen niveles de calidad.

Son normas que se integran en una familia con las que pueden existir algunos problemas de coherencia (por ejemplo ISO 19115 referente a metadatos) y su aplicación tiene sentido dentro de la familia, pero sus conceptos pueden ser aprovechados para usos fuera de la misma.

De las tres normas la que puede suponer un mayor esfuerzo de aplicación es la ISO 19113 dado que supone decidir que es relevante para la calidad. Esto conlleva a conocer muy bien el producto y sus usos.

Lo “relevante” debe estar directamente ligado a la voz del cliente, orientado de esta forma a la producción y los procesos propios de la calidad (medidas y evaluación).

ISO 19113 se centra mucho más en la calidad de datos que en los procesos.

En la actualidad hay un claro interés creciente en los aspectos de calidad de la información geográfica, lo que está favoreciendo que cada vez sean más los que las aplican.

## 16. ESTÁNDARES EN EL CONTROL DE CALIDAD POSICIONAL

En el proceso cartográfico de generación de un mapa los errores pueden provenir tanto de los datos como de los procesos propiamente dichos, pero, en cualquier caso, el error se transmite y acrecienta en la mayoría de las veces a lo largo de la cadena productiva (Lunetta y col., 1991). Existen dos formas básicas de estudiar el error o exactitud final de una cartografía:

- Física: Consiste en estudiar todos y cada unos de los procesos de la cadena productiva, intentando comprender y acotar el error que se produce. Previamente a la realización de este tipo de estudios hace falta contar con trabajos de investigación básica en cartografía que definan adecuadamente los rangos de error de cada operación cartográfica, como los de Maling (1989).
- Estadística: Consiste en observar el mapa definitivo y contrastar su calidad mediante un test estadístico sobre una muestra de datos que se consideren representativos, con casi total despreocupación de lo que ocurre dentro de los procesos. Este tipo de análisis son los que se conocen como “caja negra”.

Cabe destacar que los métodos estadísticos son los únicos que permiten establecer algún tipo de nivel de confianza que sirva tanto al usuario como al productor de forma concreta. Desde el punto de vista de la calidad posicional de los mapas topográficos, existen diversos test o métodos que permiten hacer el seguimiento de la exactitud posicional X,Y y/o Z del mapa.

Respecto al control posicional, al fundamentarse en procedimientos estadísticos, se pueden fijar ciertos niveles de confianza con los que se desee obtener el resultado. No obstante, numerosos autores afirman el hecho de que hay que partir de la hipótesis de normalidad en la distribución de los errores. Este aspecto es perfectamente asumible siempre y cuando el número de datos sea lo suficientemente amplio.

En cuanto a los errores que afectan al dato geográfico, pueden clasificarse en tres tipos:

- Errores groseros: Son aquellos valores considerados como valores atípicos.

- Errores sistemáticos: Están asociados a las condiciones en que se realiza el experimento. No tienen variación estadística y el tratamiento para su posterior corrección requiere una cuidadosa revisión del montaje experimental. Las fuentes habituales de este tipo de errores se encuentran el uso de instrumentos de medición incorrectamente calibrados, o la suposición equivocada de las condiciones ambientales, como presión atmosférica, temperatura, etc. No obstante, centrándose en los productos cartográficos, los errores sistemáticos (constantes o variables) suceden con el mismo signo y, generalmente, con la misma magnitud en un número consecutivo de observaciones, son generados por causas permanentes de tal manera que es posible disminuir su influencia o eliminarse si éstas se detectan y cuantifican.

- Errores aleatorios: Son producto de variaciones al azar producidas en las propias condiciones del trabajo, dado que al medir varias veces el mismo parámetro bajo idénticas condiciones, se obtienen valores diferentes. Si la dispersión en los valores medidos es aleatoria, los errores pueden ser tratados mediante técnicas estadísticas y obtener, a partir de un conjunto de mediciones, un valor representativo del total (Volkmann, 2002). Este tipo de errores, también conocidos como accidentales, generan fallos aleatorios individualmente pequeños, y no suelen presentar una ley fija de comportamiento, por lo que generalmente se compensan parcialmente incrementando el número de datos observados.

En la exposición y análisis de los diferentes test, se ha seguido a Veregin (1989, 1994) presentando los test NMAS y EMAS, y en especial el test NSSDA.

## 16.1. Método NMAS (National Map Accuracy Standard)

1) **Aplicaciones corrientes:** El NMAS (USBB, 1947) es el estándar empleado por el USGS desde 1947, por lo que ha sido utilizado por numerosas instituciones y organismos oficiales dedicados a la cartografía.

2) **Método de comparación:** Se realiza con fuentes de mayor exactitud.

3) **Componente posicional:** Analiza tanto la componente horizontal como la vertical. No existe ninguna subdivisión entre la X e Y, analizandolas de forma conjunta. Esto no sucede con la componente vertical dado que se estudia de forma independiente.
4) **Clases de elementos:** Puntos.

5) **Correspondencia con un estándar de exactitud predefinida**: Se especifica si la cartografía cumple o no cumple con el NMAS.

6) **Descripción**: El test estima si el mapa analizado se encuentra dentro de ciertos límites de error preestablecidos tanto para la componente horizontal (XY) como para la vertical (Z). Los errores se obtienen en base a una comparación entre una muestra homogénea de puntos bien definidos, localizados sobre la cartografía a analizar, y esos mismos puntos localizados sobre una fuente de mayor exactitud.

7) **Procedimiento:**

- Seleccionar una muestra sobre el mapa de, al menos, 20 puntos de fácil determinación
- Determinar las coordenadas de los puntos sobre el mapa y sobre una fuente de mayor exactitud
- Determinar si se ha alcanzado el estándar de exactitud horizontal predefinido. En el caso del USGS, el estándar indica que:
- Para cartografía a escala mayor que 1/20.000: como máximo el 10% de los puntos de la muestra puede tener un error horizontal mayor de 1/30 de pulgada (0.846 mm)
- Para cartografía a escala menor que 1/20.000: como máximo el 10% de los puntos de la muestra puede tener un error horizontal mayor de 1/50 de pulgada (0.508 mm)

El error viene definido como la diferencia entre la posición de los puntos en el mapa y en la fuente de mayor exactitud

- Determinar si se ha alcanzado el estándar de exactitud vertical predefinido. En el caso del USGS, el estándar indica que, como máximo, el 10% de los puntos de la muestra pueden tener un error vertical mayor de la mitad del intervalo de las curvas de nivel. El error en la dimensión vertical puede corregirse modificando la posición de los puntos en una cantidad igual al error horizontal aceptable.

**8) Discusión**:

La ventaja del estándar NMAS es su simplicidad: los resultados se expresan en la forma cumple / no cumple, de fácil interpretación por parte del usuario. No obstante, las desventajas del empleo de éste método son numerosas. La principal es la falta de indicación de una medida de inexactitud presente en el mapa: existiendo sólo indicación de si cumple o no cumple, las diferencias en el nivel de exactitud pueden ser notables y no están resueltas. Por consiguiente, resulta difícil estimar cuánto puede costar obtener un mapa de mayor exactitud. Una limitación posterior del test reside en el método de muestreo utilizado. Al considerar el requisito de fácil determinación de los puntos, tanto sobre el mapa como sobre la fuente de referencia, se introduce en las mediciones un grado de dependencia de las mismas respecto al observador externo. Además, el hecho de poder corregir el error vertical de un punto actuando sobre su componente horizontal, hace alcanzable el estándar de exactitud sólo en superficies de fuerte pendiente. En definitiva, el test no suministra medida de inexactitud de los puntos tomados: el mapa pasa el test cuando no llegan al 10% los puntos que exceden de un cierto límite, sin posibilidad de conocer la superación de ese límite por los puntos.

## 16.2. Método EMAS (Engineering Map Accuracy Standard)

**1) Aplicaciones corrientes:** El estándar original EMAS fue ideado por la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCI, 1983). El EMAS se propone como alternativa al NMAS para grandes escalas, dando una gran flexibilidad para su uso en cualquier tipo de aplicación. La Sociedad Americana de Fotogrametría (ASP, 1985) hizo suya la idea del EMAS con ligeros cambios (clases de mapas y niveles de exactitud preestablecidos) pero tras el debate en el foro de la ASPRS (la ASP pasó a ser ASPRS) (Merchant, 1987; ASPRS, 1989) se introdujeron cambios mayores. Se mantuvieron las tres clases de mapas y las tolerancias pero se decidió simplificar el método, proponiendo el uso del error medio cuadrático en lugar del error estándar y se eliminaron las hipótesis sobre las distribuciones del error. Todo ello llevó a la posterior aparición del estándar ASPRS.

**2) Método de comparación**: emplea fuentes de mayor exactitud.

**3) Componente posicional:** analiza tanto la componente horizontal como la vertical. Permite realizar un estudio por separado de la componente X e Y, así como de la componente horizontal (XY) frente a la vertical (Z)

**4) Clases de elementos**: puntos

**5) Correspondencia con un estándar de exactitud predefinida:** el estándar permite definir umbrales aceptables de error y el nivel de confianza. Está basado en hipótesis sobre los límites aceptables para los errores aleatorios y sistemáticos.

**6) Descripción:** se obtienen estadísticos para analizar si existen desplazamientos constantes (errores sistemáticos) y la variabilidad de la muestra (errores casuales o aleatorios). Se emplean de forma independiente las componentes X, Y y Z de una muestra de, al menos, 20 puntos bien definidos. La posición de los puntos sobre el mapa objeto del estudio, se compara con su posición en las fuentes de mayor exactitud.

**7) Procedimiento:**

Seleccionar una muestra de n puntos, para n ≥ 20

Calcular el error para cada punto en su componente X:

$$e_{xi} = x_{mi} - x_{t\,i}$$

en donde:

- $e_{xi}$ es el error en la componente X del punto i
- $x_{ti}$ la coordenada del punto i sobre el terreno o sobre la fuente de mayor precisión
- $x_{mi}$ la coordenada del punto i sobre el mapa

Calcular el error medio en X ( ex ) para los n puntos que componen la muestra:

$$\bar{e}_x = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} e_{xi}$$

Calcular la desviación en la componente X ($S_x$):

$$S_X = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{n-1}^{n}(e_{xi} - \overline{e_x})^2}$$

Calcular el test de cumplimiento / rechazo del estándar empleando los límites de error aceptables para los errores sistemáticos (desplazamientos constantes sobre el mapa). Para ello se emplea el estadístico $t_x$:

$$t_x = \frac{\bar{e}_x\sqrt{n}}{S_x}$$

Si se verifica que $|t_x| \leq t_{n-1\,,\,\alpha 1}$ el mapa cumple; siendo:
n-1: grados de libertad
$\alpha$: nivel de significación
t: medida teórica de una distribución t de Student.

Calcular el test de cumplimiento / rechazo del estándar empleando los límites de error aceptables para los errores casuales (aleatorios). Así, se determina el grado de variabilidad de los errores. Para ello se emplea el estadístico $\chi 2_x$

$$\chi_x^2 = \frac{S_x^2\,(n-1)}{\sigma_x^2}$$

Si se verifica que $|\chi_x^2| \leq \chi^2{}_{n-1\,,\,\alpha}$ el mapa cumple con el estándar de calidad posicional en X, donde:

$\sigma_x$: límite error aceptable (varianza máxima) en la componente X.
n-1: grados de libertad
$\alpha$: nivel de significación
$\chi 2$: medida teórica de la distribución chi-cuadrado

Calcular test análogos (para errores sistemáticos y casuales) en las componentes Y y Z. La cartografía cumplirá con el EMAS si todas las componentes han superado los dos test correspondientes.

**8) Discusión:** El test EMAS presenta dos importantes diferencias con respecto al test NMAS. En EMAS las diferencias entre las localizaciones de los puntos sobre el mapa y sobre la fuente de referencia están expresadas en términos de distancias sobre el terreno, mientras que en NMAS la unidad de medida es la distancia sobre el mapa. Además, el límite de error aceptable puede ser definido por el usuario, esto tiene como consecuencia importante que los estándares de exactitud pueden definirse en base a las exigencias de aplicación que tiene el usuario de la cartografía.

La desviación es similar al error medio cuadrático (RMSE), que es una medida utilizada con frecuencia en las valoraciones sobre la exactitud cartográfica. La desviación y el RMSE son iguales sólo cuando el error medio es igual a cero.

Algunas versiones del EMAS utilizan más que el límite de error aceptable el valor de RMSE. En este caso, no es necesario desarrollar los dos pasos anteriores (*tx, ty, tz*), y el valor de la desviación es reemplazado por el valor de RMSE. Por ejemplo, para la componente *X* sería:

$$RMSE_X = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} e_{xi}^2}$$

En donde:

- $RMSE_X$: es el error medio cuadrático en la componente X
- $e_{xi}$ es el error en la componente $X$ del punto $i$
- *n:* es el número de puntos de la muestra

## 16.3. Método NSSDA (National Standard for Spatial Data Accuracy)

Las Metodologías de Control Posicional por Puntos (MCPP) componen la forma en que tradicionalmente se han estado realizando los controles de la componente posicional de los productos cartográficos (Tabla 1.1).

| **Tabla 1.1 Estándar NSSDA** (National Standard for Spatial Data Accuracy) | |
|---|---|
| **Aplicaciones corrientes** | El NSSDA (National Standard for Spatial Data Accuracy) es un estándar reciente, propuesto por el Federal Geographic Data Committee (FGDC, 1998). Este estándar viene a sustituir al NMAS y al EMAS. Esta norma es de obligado cumplimiento para las agencias federales de los Estados Unidos que realicen labores de producción cartográfica |
| **Método de comparación** | Con fuentes de mayor exactitud |
| **Componente posicional** | Horizontal y vertical |

| | |
|---|---|
| **Clase de elementos** | Puntos |
| **Correspondencia con un estándar de exactitud** | Basado en el EMC (RMSE) de la muestra, el propio usuario, o agencia que solicita la cartografía, es quien decide los umbrales de aceptación. |
| **Descripción** | Analiza tanto la componente horizontal (x,y de forma conjunta), como la componente vertical. Se fundamenta en el cálculo del error medio cuadrático (EMC) de la muestra. Con la obtención del EMC horizontal, por un lado, y vertical, por otro, calcula el error de la muestra analizada en función de un determinado nivel de confianza impuesto por el usuario (generalmente el 95 %). Conviene verificar que se cumplen las condiciones de aleatoriedad y normalidad de manera previa a la aplicación del NSSDA. |
| **Procedimiento** | • Seleccionar una muestra de n puntos, siendo n ≥ 20.<br>• Calcular el error de cada punto en cada componente<br>$e_{x_i} = x_{t_i} - x_{m_i}$ $e_{y_i} = y_{t_i} - y_{m_i}$ $e_{z_i} = z_{t_i} - z_{m_i}$<br>• Calcular el error medio cuadrático de cada componente:<br>$EMC_X = \sqrt{\frac{\Sigma e_{x_i}^2}{n}}$ $EMC_Y = \sqrt{\frac{\Sigma e_{y_i}^2}{n}}$ $EMC_Z = \sqrt{\frac{\Sigma e_{z_i}^2}{n}}$<br>• Obtener el valor NSSDAH horizontal:<br>$Si\ EMCx = EMCy$ $NSSDAh = \frac{2.4477}{2^{1/2}}\ EMCy = 2.4477.EMCx$<br>$donde\ EMCy = \sqrt{EMC_x^2 + EMC_y^2}$<br>NSSDAh = 1.7308<br>$Si\ EMCx \neq EMCy$ $NSSDAh = 2.4477\ .\ 0.5\ (EMC_x + EMC_y)$<br>$0.6 < (EMC_{min} / EMC_{max}) < 1.0$<br>NSSDAh = 1.22385<br>• Obtener el valor NSSDAz vertical según la siguiente expresión:<br>NSSDAz = 1,9600 · EMCz<br>• Incluir junto a la leyenda del mapa:<br>"Se ha verificado una exactitud horizontal de___ metros al 95% de nivel de confianza"<br>"Se ha verificado una exactitud vertical de_____ metros al 95% de nivel de confianza"<br>Esto significa que un usuario de un conjunto de datos puede estar seguro de que la posición horizontal ( vertical) de un objeto bien definido estará dentro de ……. metros de su verdadera ubicación (de la mejor manera que su verdadera ubicación haya sido determinado), el 95 por ciento de las veces.<br>La exactitud reportada como el 95% del nivel de confianza ( la probabilidad que el verdadero valor este dentro de un rango de valores dados) significa que el 95% de las posiciones en el conjunto de los puntos datos tendrán un error respecto a la verdadera posición en el terreno igual o menor que el valor dado por la exactitud calculada ( NSSDA ) . |

| | |
|---|---|
| **Discusión** | Este método permite obtener un índice de calidad posicional en unidades reales, sobre el terreno, pero no dice si el mapa es aceptado o rechazado, tal y como hacían los test anteriores. El resultado determinado con el NSSDA deberá aparecer como metadato en el producto. En este caso, le corresponde al usuario de la cartografía, o agencia que solicita la cartografía, el establecer los límites de aceptación **en función de sus necesidades**, lo cual constituye su mayor ventaja. Como inconveniente, presupone que se han eliminado los errores sistemáticos, hecho que no podemos constatar en una cartografía si no verificamos la presencia de este tipo de errores (por ejemplo, mediante el test de Student o Kolmogorov-Smirnov). Por otro lado, el estándar no aclara qué hacer si 0,6 > EMCmin/EMCmax. En este caso, los valores de EMCx y EMCy serían tan diferentes entre sí, que no se podría realizar una aproximación a una EMC de carácter circular. Esta situación indicaría un comportamiento muy diferente entre las componentes X e Y, y habría que cuestionarse seriamente la calidad posicional del producto, analizando si existe algún sesgo importante en el proceso de producción, la existencia de atípicos, etc. En este sentido, podría proponerse una medida de calidad, no contemplada en ISO 19138, que analizara este cociente. Además, en caso de no cumplir esta medida, se podrían indicar, al menos, los valores por separado de EMCx y EMCy. |

Tras el debate en el foro de la ASPRS (ASPRS, 1989) se mantienen las tres clases de mapas y las tolerancias, pero se decide simplificar el método, proponiendo el uso del error medio cuadrático en lugar del error estándar y se eliminan las hipótesis sobre las distribuciones del error. A esta propuesta se la conoce como ASLSM (Accuracy Standards for Large Scale Maps).

El siguiente paso fue el desarrollo del NSSDA (National Standard for Spatial Data Accuracy) por parte del FGDC (1998) que toma sus bases de los trabajos de la ASPRS extendiendo la validez de la aplicación a escalas menores de E20k, y con una vocación de aplicación clara sobre productos digitales. El NSSDA es actualmente norma de obligado cumplimiento en las agencias federales de los Estados Unidos que realicen labores de producción de datos cartográficos analógicos y/o digitales.

**Tabla 7.2 Esquema de trabajo en la presentación de los test de control posicional**

| **Aplicaciones corrientes** | **Entidades cartográficas que utilizan el test rutinariamente.** |
|---|---|
| Método de comparación | Indica la metodología utilizada para evaluar la exactitud posicional. |
| Componente posicional | Especifica si el test se aplica a la componente vertical u horizontal. |
| Clases de elementos | Puntos, líneas o superficies. |
| Correspondencia con un estándar de exactitud predefinida | Indica si el test está construido en forma de poder evaluar la exactitud posicional de un grupo de elementos relativos a límites de error aceptables y que han sido predefinidos por el usuario. |
| Descripción | Breve presentación del procedimiento. |
| Procedimiento | Índice, paso a paso, de cómo desarrollar el test. |
| Discusión | Breve análisis crítico de las ventajas y desventajas del test analizado. |
| | |

Las MCPP (Metodologías de Control Posicional por Puntos) se basan en procedimientos estadísticos, y por tanto se pueden fijar ciertos niveles de confianza con los que se pretende obtener los resultados. Siempre se suele partir de la hipótesis de normalidad y de aleatoriedad en la distribución de los errores.

El primer aspecto es perfectamente asumible siempre y cuando el número de datos sea lo suficientemente amplio. A pesar de ello, y en el caso de tener alguna duda al respecto, se acreditará la normalidad de la muestra empleando, por ejemplo, el test de Kolmogorov-Smirnov. Por otro lado, la aleatoriedad se puede comprobar, por ejemplo, realizando un test de rachas.

Todos los test empleados se basan en la comparación de la BDG con una fuente de mayor exactitud. Ésta podrá ser bien otra BDG de mayor exactitud (contrastada previamente), o bien datos tomados sobre el terreno. En este último aspecto, el empleo de los actuales sistemas de posicionamiento global GNSS reducen considerablemente los costes en esta fase del proceso.

**En Planimetría**

| | |
|---|---|
| **Suma** | |
| **Promedio** | |
| **ECMr** | |
| **NSSDAh** | **1.73080 . ECMr** **Si ECMx = ECMy**<br>**1.22385 . (ECMx+ECMy)** **Si ECMx ≠ ECMy** |

Donde:

| | |
|---|---|
| Id | Orden del punto |
| Xt | Coord en X del punto de referencia medido en el terreno |
| Yt | Coord en Y del punto de referencia medido en el terreno |
| Xc | Coord en X del punto test medido en la carta |
| Yc | Coord en Y del punto test medido en la carta |
| Difx | Xt - Xc |
| Dify | Yt - Yc |
| $Difx^2$ | Diferencia (Xt - Xc)2 |
| $Dify^2$ | Diferencia (Yt - Yc)2 |
| $Difx^2 + Dify^2$ | Suma de las diferencia al cuadrado |
| Error Radial p/cada pto. | $\sqrt{(Difx^2 + Dify^2)}$ |
| Suma | $\sum (Difx^2 + Dify^2)$ |
| Promedio | Suma / nro. puntos |
| ECMr | Error Cuadratico Medio Radial = $\sqrt{promedio}$ |

NSSDAh National Standard for Spatial Data Accuracy = **1.7308 . ECMr** Si ECMx = ECMy

National Standard for Spatial Data Accuracy = **1.22385 . (ECMx+ECMy)** Si ECMx ≠ ECMy

**En Altimetría**

| Id | Zt | Zc | Difz | Difz2 |
|---|---|---|---|---|
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

| | |
|---|---|
| **Suma** | |
| **Promedio** | |
| **ECMz** | |
| **NSSDAz** | **1.9600 . ECMz** |

Donde:

| | |
|---|---|
| Id | Orden del punto |
| Zt | Coord en Z del punto de referencia medido en el terreno |
| Zc | Coord en Z del punto test medido en la carta |
| Difz | Zt – Zc |
| $Difz^2$ | Diferencia (Zt - Zc)2 |
| Suma | $\sum (Difz)^2$ |
| Promedio | Suma / nro. puntos |
| ECMz | Error Cuadratico Medio Vertical = $\sqrt{promedio}$ |
| NSSDAz | National Standard for Spatial Data Accuracy = **1.9600 . ECMz** |

**Nota:** De lo visto anteriormente, se concluye entonces que los métodos EMAS y NMAS son los utilizados con menor frecuencia en el proceso de determinación de la calidad cartográfica, debido a su carácter taxativo en relación a los resultados obtenidos.

Luego, se tiene el método NSSDA el cual es un estándar no restrictivo, motivo que permite obtener resultados y conclusiones en un sentido más amplio en cuanto al tratamiento que se le puede dar a la cartografía según su calidad.

## 17. MARCO METODOLÓGICO

La metodología de éste trabajo final se desarrolla en base a procedimientos estadísticos que resultan del análisis de los diferentes estándares de calidad internacional, referidos al control de la exactitud posicional planimétrica y altimétrica. Se aplicará sobre la cartografía digital de base del departamento Pocito, perteneciente a la provincia de San Juan, la misma fue provista por la Dirección de Geodesia y Catastro de la Provincia (DGC).

Para la gestión y el tratamiento estadístico de las variables aleatorias, se cuenta con una nube de puntos de control terrestre provenientes de una radiación de apoyo topo-geodésica de alta confiabilidad (medidos por un equipo GPS Trimble 7500 procesados en simple frecuencia mediante la técnica de medición estático, realizado en sesiones de corta duración) y la misma de muestra puntos homólogos medidos desde la carta digital en estudio.

**Métodos de evaluación mediante elementos puntuales**

Las Metodologías de Control Posicional por Puntos (MCPP) son la forma en que tradicionalmente se han venido realizando los controles de la componente posicional de los productos cartográficos. Debido a la importancia de este tipo de controles existe, y ha existido,una gran controversia sobre los mismos siendo cada una de las propuestas hija de su época. En este apartado se van a referir el conjunto de normas emanadas de los EEUU1 por ser un claro ejemplo de dinamismo, por la existencia de abundante información (caso contrario a lo que ocurre en Europa), y porque estos métodos tienen una gran influencia mundial en los organismos productores de cartografía desde la época posterior a la Segunda Guerra Mundial:

El NMAS (National Map Accuracy Standard; USBB 1947) pertenece a las corrientes normalizadoras y de control de calidad desarrolladas durante y tras la Segunda Guerra Mundial. A pesar de su larga aplicación en el tiempo, han existido notables polémicas sobre su cumplimiento, sobre su grado de exigencia, etc.

En los años ochenta la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE, 1983) propuso el EMAS (Engineering Map Accuracy Standard) como alternativa al NMAS para grandes escalas, con gran flexibilidad para su uso en cualquier tipo de aplicación.

Tras su debate en el foro de la ASPRS (ASPRS, 1989) se mantienen las tres clases de mapas y las tolerancias, pero se decide simplificar el método, se propone el uso del error medio cuadrático en lugar del error estándar y se eliminan las hipótesis sobre las distribuciones del error. A esta propuesta se la conoce como ASLSM (Accuracy Standards for Large Scale Maps).

El siguiente paso fue el desarrollo del NSSDA (National Standard for Spatial Data Accuracy) por parte del FGDC (1998) que toma sus bases de los trabajos de la ASPRS extendiendo la validez de la aplicación a escalas menores de E20k, y con una vocación de aplicación clara sobre productos digitales. El NSSDA es actualmente norma de obligado cumplimiento en las agencias federales de los Estados Unidos que realicen labores de producción de datos cartográficos analógicos y/o digitales.

Como se deduce, se trata de un conjunto muy diverso de métodos que han ido evolucionando a lo largo de los años. Además, todos ellos han tenido una gran influencia en el ámbito mundial al ser adoptados por muchos países y en la actualidad se encuentran en revisión en numerosos lugares2.

Los MCPP se basan en procedimientos estadísticos, y por tanto se pueden fijar ciertos niveles de confianza con los que se pretende obtener los resultados. Siempre se suele partir de la hipótesis de normalidad y de aleatoriedad en la distribución de los errores. El primer aspecto es perfectamente asumible siempre y cuando el número de datos sea lo suficientemente amplio. Apesar de ello, y en el caso de tener alguna duda al respecto, deberemos acreditar la normalidad de la muestra empleando, por ejemplo, el test de Kolmorov-Smirnov. Por otro lado, la aleatoriedad se puede comprobar, por ejemplo, realizando un test de rachas.

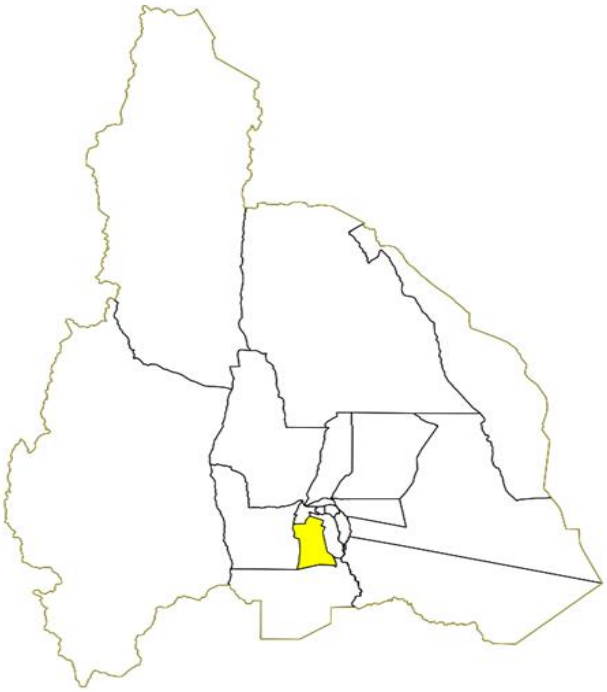
Todos los test empleados se basan en la comparación de la BDG con una fuente de mayor exactitud. Ésta podrá ser bien otra BDG de mayor exactitud (contrastada previamente), o bien datos tomados sobre el terreno. En este último aspecto, el empleo de los actuales sistemas de posicionamiento global GNSS reducen considerablemente los costes en esta fase del proceso.

## 17.1. Zona de Estudio

El departamento Pocito se localiza en la zona centro sur de la provincia de San Juan, aproximadamente en el centro de la región de Cuyo, en el sector centro oeste del Valle del Tulúm, es decir, se ubica aproximadamente en el centro oeste de Argentina.

Este departamento abarca una superficie de 515 km², donde se desarrolla un paisaje serrano hacia el oeste y hacia el este una zona llana con muy escasos accidentes orográficos, concentrándose allí más de 50.000 habitantes, sustentados económicamente, en forma

equilibrada, en actividades agrícolas, donde predomina una importante producción frutihortícola, y actividades terciarias y agroindustriales varias.



**Polígono de Estudio:**

El polígono elegido se encuentra al norte de la zona céntrica de Pocito, tomando como límites:

- Norte: se presenta una línea recta en dirección este-oeste próxima (a la altura) a la intersección de Calle 6 y Vidart.
- Sur: se presenta una línea recta con dirección este-oeste próxima (a la altura) a la intersección entre Calle 12 y Vidart.
- Este: se toma el propio límite del departamento determinado por las calles Gral. Acha, Las Mercedes, Calivar, 9 de Julio y Alfonso XIII (de norte a sur respectivamente).
- Oeste: se tomó una línea recta, que se extiende en dirección norte sur, paralela a la sierra chica de Zonda.

Superficie total de polígono = 9.205ha 4.504,70 m²

Figura 17.1

## 17.2. Capas de Estudio:

La cartografía a validar estará formada por tres capas temáticas digitales en estructura vectorial shape file, caracterizadas por tener diferentes tipos de geometría, donde la información que cada una de ellas contiene, se extraen de una tabla de atributos pertenecientes a las mismas:

| CAPA | GEOMETRÍA |
|---|---|
| EJES DE CALLES | LÍNEA |
| MARCAS CATASTRALES | PUNTO |
| PARCELARIO | POLÍGONO |

**1. Marcas Catastrales:**

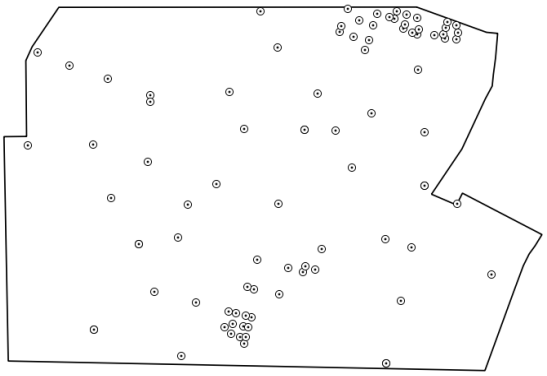


Figura 17.1

Información extraída de la tabla de atributos:

- Red
- Altura
- X
- Y
- Nombre

**Información Planimétrica**

Esta capa es la de mayor información posicional de las tres cartografías a validar, ya que tiene las coordenadas en el sistema de proyección: Gauss Krüger, marco de referencia: Posgar 2007, con sus nombres de marcas catastrales de la red Urbana y Rural.

Las precisiones correspondientes a dichas redes fueron facilitadas por la DGC, siendo estas del orden de **± 5 cm en la red rural** y de **± 10 cm en la red urbana.**

La dirección de geodesia y catastro a través del proyecto SICAT encomienda la medición de la red urbana (año 1994) y de la red rural (año 1996), ambas referidas inicialmente a Campo Inchauspe 69 (sistema de referencia relativo) y a Posgar 94 (marco de referencia).

De lo expuesto, las coordenadas de las marcas catastrales debieron ser transformadas de Posgar 94 a Posgar 07 (referido al Marco de Referencia Internacional Terrestre, ITRF 2005), con esto se concluye que las precisiones obtenidas en las mediciones originales deben mantenerse en el valor de las coordenadas transformadas, ya que éste proceso consiste en una traslación teniendo en cuenta parámetros de transformación según el elipsoide utilizado.

Las marcas catastrales representadas en la capa son resultado de sus coordenadas medidas.

**Información Altimétrica**

La capa especifica la altura elipsoidal de cada una de las marcas catastrales. Es decir, son cotas geodésicas referidas al ITRF 2005.

Las precisiones correspondientes a dichas redes fueron facilitadas por la DGC, siendo estas del orden de **± 5 cm en la red rural** y de **± 10 cm en la red urbana.**

**2. Ejes de Calles**:

Figura 17.2

Información extraída de la tabla de atributos:

- ID
- Nombre de calles

**Información Planimétrica**

La cartografía digital perteneciente a la Dirección de Geodesia y Catastro ha sido corregida permanentemente.

La digitalización de los ejes de calles, en sus inicios, se llevó a cabo (estimativamente) sin un proceso de georreferenciación de fondo, debido a que no se contaba con toda la cobertura en imágenes del departamento Pocito. Motivo por el cual, para realizar tal proceso, se tomó como referencia el parcelario previamente digitalizado desde las secciones de papel.

En el año 2009 hay una nueva restitución a partir de la cual se corrige la cartografía parcelaria, lo que deriva en la corrección de los ejes de calles. El fin primario de este proceso, fue y sigue siendo meramente temático, a modo de que las calles queden debidamente etiquetadas con sus respectivos nombres en mapas.

Se tiene especialmente en cuenta para la finalidad de este trabajo final, que el proceso de digitalización de los ejes de calles tuvo variaciones en cuanto a las escalas utilizadas según la zona sobre la que se trabajó, es decir: digitalizar los ejes de calles sobre una zona rural, no es lo mismo que hacerlo sobre una zona urbana, debido a que en esta última existe una mayor densidad de calles, razón por la cual se trabajó con diferentes zooms sobre las cartas para poder diferenciar correctamente los ejes, resultando en variaciones de escala.

Actualmente los ejes de calles se siguen corrigiendo a partir de los planos de mensura de parcelas (presentados en la DGC por profesionales de la agrimensura) debidamente georreferenciados.

Debido a que la capa de ejes de calles, no contiene el valor de la precisión como metadato, se tuvo en cuenta el cálculo de ésta para la zona rural y urbana de forma distintiva a partir de las escalas de dicha carta, según lo establecido en la siguiente tabla:

| Escala del Mapa | Desviación Típica (m) |
|---|---|
| 1 : 10.000 | 2.500 |
| 1 : 5.000 | 1.250 |
| 1 : 2.000 | 0.500 |
| 1 : 1.000 | 0.250 |
| 1 : 500 | 0.050 |
| 1 : 100 | 0.025 |

**Nota:** Desviaciones tolerables para que el 90% de los puntos se encuentren a una distancia inferior a los 0,43 mm. La tabla que precede, relaciona los valores de las escalas correspondientes a la cartografía y la precisión que se puede obtener con la misma
Se tiene entonces los siguientes valores:

- **Escala Urbana: 1 / 5000 - Precisión: ± 1,25 m**
- **Escala Rural: 1 / 15000 - Precisión: ± 3,75 m**

**Información Altimétrica**

La capa no contiene información altimétrica, por lo cual se debió realizar un proceso para definirla a partir de la creación de nodos en las intersecciones de las calles, el cual está explicado más adelante.

**3. Parcelario:**

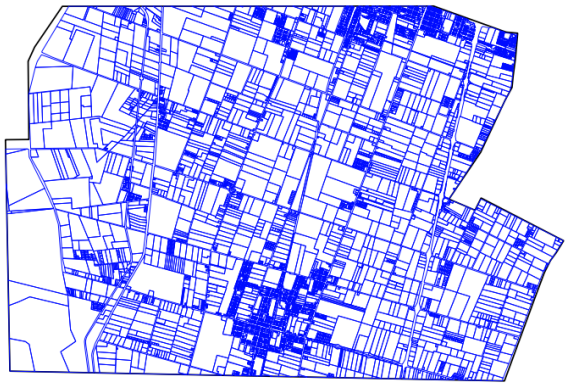


Figura 17.3

Información extraída de la tabla de atributos:

- Área de parcelas
- Perímetro
- Nomenclatura Catastral

**Información Planimétrica**

Inicialmente la información de la capa se basa en las características de los atributos de los polígonos que la componen. Su digitalización fue realizada a partir de las secciones catastrales en papel.

Posteriormente, la rectificación del parcelario se llevó a cabo a través de un proceso de restitución a partir de imágenes satelitales (correctamente georreferenciada y ortorestituida) referidas a Posgar 2007.

La precisión en la zona rural es muy difícil definirla con seguridad, debido a que en la digitalización no se interpreta con claridad en los límites de las parcelas.

La DGC actualiza de forma permanente la información que compone esta capa a través de los planos de mensura, que cuentan con las coordenadas de los vértices de las parcelas en el sistema de proyección Gauss Küger - Posgar 2007. Esto proporciona una mayor confiabilidad en la ubicación geográfica de las parcelas.

Las precisiones correspondientes al parcelario fueron facilitadas por la DGC, siendo estas del orden de **± 30 a 50 cm en la red urbana** y de **± 1 a 2 m en la red rural.**

**Información Altimétrica**

La capa no contiene información altimétrica, por lo cual se debió realizar un proceso para definirla a partir de la creación de nodos en los vértices de las parcelas, el cual está explicado más adelante.

Se tendrá en cuenta que la cartografía que se pretende validar tiene ciertas incertidumbres en cuanto a la precisión con la que fueron generadas, como ya se mencionó anteriormente, la misma varía según sea una zona rural o urbana, según el método de digitalización y del método de captura de los datos, entonces con el objetivo de salvar dichas incertidumbres, se establece una precisión gráfica ( también llamado error gráfico máximo) de la carta utilizada, esto es, cuánto mide un punto en la carta teniendo en cuenta lo que el ojo aprecia, luego los objetos que tengan un valor menor que éste, no podrán ser representados.

Siendo la escala de las secciones digitalizadas de 1/5000, se hace la siguiente relación:

- 1 mm (en carta) → 5000 mm (en superficie)
- 1 mm (en carta) → 5 m (en superficie)
- 0.1 mm (en carta) → 0.5 m (en superficie)

Teniendo en cuenta que el poder separador del ojo abarca una distancia entre 0.25 mm a 0.5 mm, se toma un valor estandarizado de 0.3 mm.

Si: 0.1 mm (en carta) → 0.5 m (en superficie)
0.3 mm (en carta) → 1.5 m (en superficie)

**Se concluye entonces que, para una cartografía digital de Esc. 1/5000, no se puede esperar errores menores a 2 metros (valor redondeado) para el caso de límites bien definidos en la carta**, debido a que no se puede tener mayor precisión que el marco de contrastación, para este caso son las tres **capas de estudio unificadas**.

Para esta conclusión se tuvo en consideración lo siguiente:

Teniendo el conocimiento previo de que las tres capas de estudio, tienen diferentes procedencias en cuanto a si es una zona rural o urbana, su modo de captura, actualización y por consiguiente diferentes precisiones, se decidió unificar las mismas para llevar a cabo el análisis estadístico de validación posicional.

**Capas a validar con nodos generados**

Es necesario entender que validar una cartografía digital, a priori, es comparar valores tomados de la superficie terrestre con su homólogo en la carta, siendo éstos valores coordenadas planimétricas y altimétricas respectivas.

Luego el proceso realizado sobre las capas consistió en seleccionar un número determinado de puntos que contarán con valores específicos de coordenadas en la carta y los mismos a contrastar posteriormente con los obtenidos de la medición a realizar en la superficie terrestre. En general se consideró que los puntos seleccionados debían cubrir de forma homogénea la zona de estudio, y que en superficie se encuentren alejados de zonas de alta tensión eléctrica.

En la capa de puntos, correspondiente a Marcas Catastrales se tuvo en cuenta para la elección de los mismos, la distribución homogénea en la zona de estudio y principalmente que dichas marcas se encuentren en la superficie o que en su defecto puedan ser replanteadas según lo dispuesto en las monografías de cada una. Se obtienen de esta capa, las coordenadas X, Y, h en Marco de referencia Posgar 2007 y Sistema de proyección Gauss Krüger.

En la capa de línea, correspondiente a ejes de calles, se procedió a generar nodos a partir de un proceso informático administrado por un comando propio del programa usado que surgen de la intersección de las mismas. Para la selección de la muestra de nodos, se tuvo en cuenta su distribución homogénea y que la intersección de la calles correspondan a aquellas que sean de fácil acceso y por cuestiones de seguridad, no muy transitadas.

En la capa de polígonos, correspondiente al parcelario, los nodos generados pertenecen a los vértices de las parcelas. Cabe aclarar que este procedimiento tiene su fundamento en que las coordenadas X e Y las genera el software sin intervención en la medición por parte del usuario lo que le da más confiabilidad a la asignación de las coordenadas de la carta.

Para la elección de la muestra de nodos, se tuvo en cuenta su distribución homogénea y que dichos vértices en la superficie fueran de fácil identificación.

Del proceso de generación de nodos realizados con el software, se tiene como resultado una capa nueva que en primera instancia no contiene información de la posición X, Y, h. Por esto, se realiza un recalculo posicional de los nodos en la tabla de atributos de dicha capa. Para el recalculo de $X_{gk}$ en el software GIS, se debe seleccionar el campo correspondiente a la coordenada Y, y en el caso de $Y_{gk}$ la correspondiente coordenada X (esto varía de acuerdo al software utilizado, ya que dichos programas trabajan con los ejes de coordenadas "invertidos" respecto a los utilizados con Gauss Krüger).

A continuación se presentan las capas resultantes de ejes de calles, marcas catastrales y parcelarias respectivamente con sus correspondientes tablas de atributos.

## CAPA: Nodos de ejes de calles

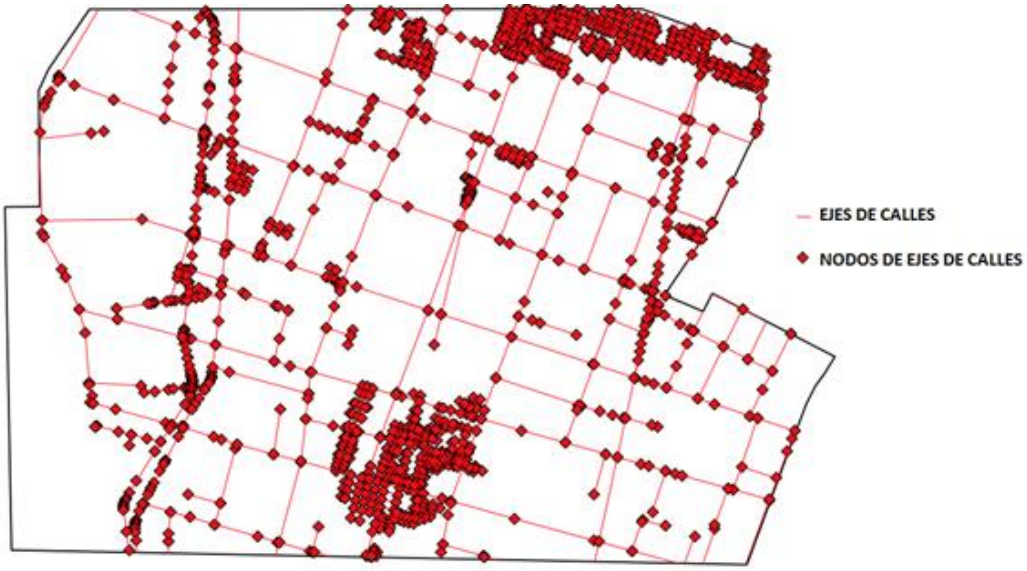



Figura 17.4

## Tabla de atributos

| | ID | NOMBRE | X (gk) | Y (gk) |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 2679 | RUTA NACIONAL... | 6505031.470 | 2545054.290 |
| 1 | 2680 | AGUSTIN GOMEZ... | 6505031.470 | 2545054.290 |
| 2 | 2681 | MAURIN | 6505004.470 | 2545130.790 |
| 3 | 2682 | AGUSTIN GOMEZ | 6505031.470 | 2545054.290 |
| 4 | 2682 | AGUSTIN GOMEZ | 6505004.470 | 2545130.790 |
| 5 | 2683 | LATERAL ACCES... | 6504941.470 | 2545310.290 |

## CAPA: Marcas Catastrales

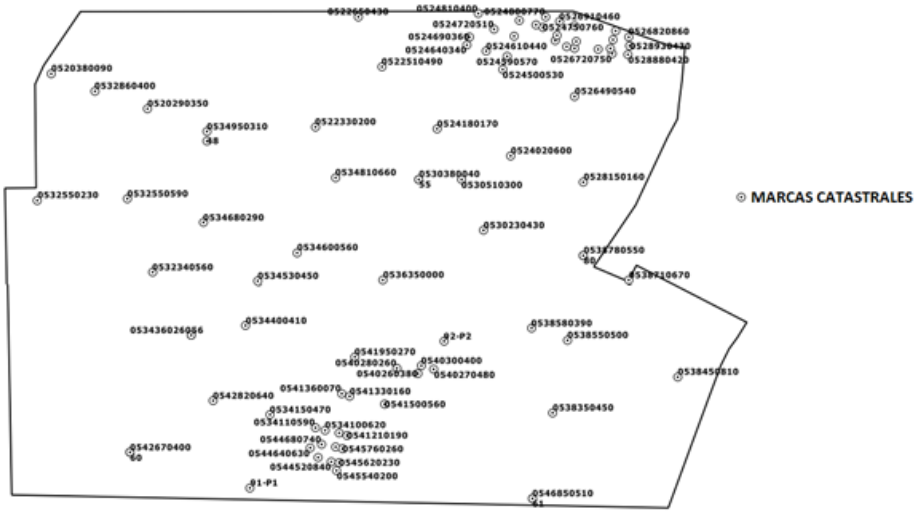



Figura 17.3

## Tabla de atributos

| NOMBRE | ALTURA | X | Y |
|---|---|---|---|
| 0524500530 | 658,80 | 6504410.78 | 2542823.04 |
| 0524590570 | 658,63 | 6504634.24 | 2542900.81 |
| 0524610440 | 661,64 | 6504720.95 | 2542541.11 |
| 0524640340 | 664,28 | 6504833.95 | 2542213.20 |
| 0524690360 | 664,34 | 6504971.65 | 2542264.32 |
| 0524690600 | 659,08 | 6504973.47 | 2543010.84 |
| 0524720510 | 661,52 | 6505094.12 | 2542679.12 |
| 0524750760 | 656,09 | 6505131.05 | 2543502.62 |

## CAPA: Nodos de Parcelas (Sección Norte-Oeste)

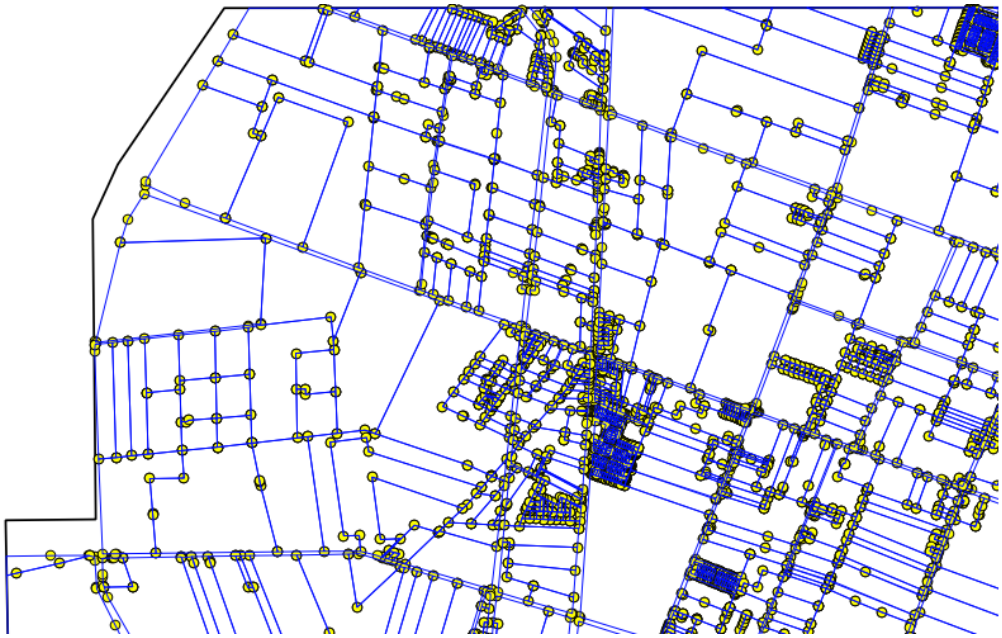


Figura 17.6

## Tabla de atributos

| | OBJECTID | NOMENCLA | id | X (gk) | Y (gk) |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 107685 | 0584960515 | 158 | 6500934.100 | 2534492.790 |
| 1 | 107685 | 0584960515 | 159 | 6500913.290 | 2534449.800 |
| 2 | 107685 | 0584960515 | 162 | 6502088.430 | 2534443.620 |
| 3 | 107685 | 0584960515 | 163 | 6502146.040 | 2534694.200 |
| 4 | 107685 | 0584960515 | 164 | 6502190.210 | 2534869.150 |
| 5 | 107685 | 0584960515 | 165 | 6502181.630 | 2534899.370 |
| 6 | 107685 | 0584960515 | 166 | 6502166.250 | 2534900.380 |
| 7 | 107685 | 0584960515 | 167 | 6502007.590 | 2534910.800 |

# 18. CAMAPAÑA DE MEDICIÓN EN TERRENO DE PUNTOS DE CONTRASTE

## 18.1. Equipo de Medición

El equipo, o instrumental a utilizar en la campaña, se compone por un GPS/GNSS de simple y doble frecuencia de marca “Trimble”, aportado por el departamento de agrimensura de la Universidad Nacional de San Juan (UNSJ).

A continuación se hará referencia al nombre de los elementos (utilizados en campaña) que componen el equipo, para posteriormente poder explicar los procedimientos realizados, se tiene entonces:

**Equipo de medición:**

- Rover
- Antena Base
- Controladora
- Receptor base
- Bastones
- Cables
- Chalecos reflectivos para todos los operarios
- 4 Conos
- Cinta métrica milimetrada 50 m para el replanteo de ejes de calles.

## Características principales - GPS Trimble 5700

Registro en un controlador Trimble

Cuando el receptor 5700 está conectado a un controlador Trimble, se puede registrar datos GPS desde el receptor al controlador, o a una tarjeta PC insertada en el mismo. Cuando se usa un controlador de Trimble, no se utilizan los controles del receptor. En su lugar, se usan las funciones del controlador para configurar las opciones de captura, también se puede

especificar los nombres de los archivos y controlar el momento en que se produce el registro de los datos.

La información es almacenada en archivos de trabajo (.job), que pueden ser transferidos a una computadora usando la utilidad “Trimble Data Transfer”.

**Definición de los archivos de aplicación programados**

Para enviar archivos de aplicación programados a un receptor 5700, debe configurar sesiones de levantamiento en el software GPS Configurator. Puede definir sesiones múltiples, en cada una debe especificarse:

- Los parámetros de registro básicos (velocidad de registro de datos, velocidad del registro de posiciones, y máscara de elevación)
- La hora de inicio
- La duración

Al aplicar las configuraciones actuales en el software GPS Configurator, cada una de las sesiones topográficas definidas se enviará al receptor 5700 como un par de archivos de aplicación programados: el primero incluye las configuraciones de registro y la hora de inicio, y el segundo los parámetros que cesan el registro a la hora final designada (la cual se calcula automáticamente a partir de la duración especificada)

El receptor 5700 puede almacenar hasta 20 archivos de aplicación, de forma que el usuario puede definir 10 sesiones topográficas programadas como máximo (10 pares de archivos de aplicación programados con horas de inicio y fin de sesión).

Los archivos de aplicación creados en el software Configuration Toolbox pueden guardarse tanto en el receptor como en la computadora. Cada archivo puede por ejemplo, representar a un usuario diferente que comparte el mismo receptor, o un modo de operación o estilo de levantamiento particular. El guardar los archivos de aplicación en la computadora y en el receptor es opcional, pero es útil porque:

- Le proporciona una copia permanente de las configuraciones que ha enviado al receptor, útil como referencia o para auditorías
- Se puede utilizar un mismo archivo para configurar varios receptores de forma idéntica
- Se puede utilizar un archivo de aplicación existente como plantilla para crear otros archivos de aplicación con configuraciones parecidas

## 18.2. Especificaciones Técnicas - GPS Trimble 5700

| Posicionamiento | Modo | Precisión horizontal (RMS) | Precisión vertical (RMS) |
|---|---|---|---|
| RTK (OTF) | Sincronizado | 1 cm + 1 ppm (longitud de línea base) | 2 cm + 1 ppm (´ longitud de línea base) |
| | Latencia baja | 2 cm + 2 ppm (longitud de línea base) | 3 cm + 2 ppm (longitud de línea base) |
| Fase de código C/A L1 | Sincronizado/Latencia baja | ,25 m + 1 ppm RMS | ,50 m + 1 ppm RMS |
| Estático/ Estático rápido (FastStatic) | N/A | 5 mm + 0,5 ppm (´ longitud de línea base) | 5 mm + 1 ppm (´ longitud de línea base) |
| WAAS | N/A | Menos de 5 mb | Menos de 5 mb |

| Función | Especificación |
|---|---|
| Rastreo | 24 canales de código C/A L1, portadora de ciclo completo L1/L2<br>Totalmente operativa durante el cifrado de códigos P<br>Rastreo de satélites WAAS |
| Procesamiento de señales | Arquitectura Maxwell<br>Procesamiento de código C/A de ruido muy bajo<br>Supresión de errores por trayectoria múltiple |
| Inicio | En frío: < 60 segundos desde el encendido<br>En caliente: < 30 segundos con efemérides reciente |
| Inicialización | Automática durante el movimiento o estática |
| Tiempo de inicialización mínimo | 10 seg + 0,5 × longitud de línea base (km) |
| Comunicación | Tres puertos en serie RS-232 (Puerto 1, Puerto 2, y Puerto 3)<br>Velocidades en baudios de hasta 115,200 bps<br>Negociación de control de flujo RTS/CTS soportada solamente en el puerto 3<br>Un puerto USB (solamente descarga) |
| Configuración | Archivos de aplicación definibles por el usuario o mediante el software GPS Configurator |
| Formatos de salida | NMEA-0183: AVR; GGA; GST; GSV; PTNL,GGK; PTNL,GGK_SYNC; HDT; PTNL,PJK; PTNL,PJT; ROT PTNL,VGK; VHD; VTG; ZDA<br>GSOF (Salida continua de datos binarios de Trimble)<br>1PPS<br>RT17 |

**Nota:** Extracto del Manual de Uso Trimble 5700

Se realizó, previo a la campaña, una serie de pruebas para asegurar el adecuado funcionamiento y uso del equipo.

**Prueba 1: Duración de Baterías**

Estas pruebas se llevaron a cabo en el Departamento de Agrimensura, de la Universidad Nacional de San Juan.

En primer lugar y muy importante, se tuvo la consideración de cargar al 100 % las baterías externas del equipo, como también la controladora.

Con las 3 baterías totalmente cargadas (dos en el receptor base y una en en el rover), se procedió a dejar encendidos los equipos de forma continua hasta agotar las baterías en su totalidad. La duración de las mismas se estimó entonces para un tiempo aproximado de 4 horas.

Luego, teniendo en cuenta la duración de las baterías, la cantidad de datos a medir, y la zona a cubrir, se decidió en primer instancia que las campañas a realizar serían tres, abarcando una zona de un radio de 3 Km respecto de cada base elegida, luego para que estos datos sean tomados como definitivos, se realizaron las siguientes pruebas de precisión.

**Prueba 2: Precisión del Receptor**

En un punto de coordenadas conocidas dentro del departamento de Agrimensura, se colocó el receptor base, del cual se obtuvieron coordenadas que posteriormente se compararon con las receptadas por el rover.

Entonces, para el cálculo de la precisión, se procedió a tomar puntos fuera del departamento de Agrimensura, abarcando distancias entre 300 Mts a 3 Km para salvar las distancias de las zonas a cubrir en las campañas. Las estaciones realizadas tuvieron un tiempo de duración entre 5 y 10 minutos, tomando el mayor tiempo para el punto más alejado respecto de la base, fue necesario usar marcas catastrales para la medición de dichos puntos, ya que de éstas se tienen coordenadas conocidas, necesarias para la determinar la precisión del equipo.

Los resultados determinaron que se logró una precisión menores a los 0,02 metros lo que determinó que es de gran precisión y este equipo GPS es apto para realizar la campaña.

Conclusiones de las pruebas realizadas*:*

- El método de medición a utilizar, es el estático, para poder lograr medir la mayor cantidad de puntos en el menor tiempo posible y con gran precisión.
- El radio de 3 Km a abarcar desde la base, es válido, teniendo en cuenta que si, por algún motivo es necesario salir de dicho radio, será necesario también realizar una medición de mayor tiempo en el punto que corresponda.

## 18.3. Determinación de Puntos

En primer lugar, para la elección de la cantidad de puntos que componen la muestra, se tuvo en cuenta la teoría de errores de Gauss, de donde se obtiene que para realizar un trabajo de validación cartográfica se necesita estadísticamente un mínimo de 30 puntos, valor que se obtiene en función del siguiente fundamento estadístico:

**Teoría de Muestreo Aleatorio Simple (M.A.S)**

Esta teoría establece que a muestra debe tener una cantidad de puntos lo más representativa estadísticamente de la población, y los resultados sobre el análisis de dicha muestra reflejen lo que es el comportamiento de la población o universo.

**n:** Número de muestra
**μ:** Media Poblacional
**$\mu_0$ :** Media Muestral
**σ:** Desviación Estándar Poblacional (En este caso se usa la D.Estandar Muestral S )
**ε:** Error máximo de estimación (Varía entre 0,5% y 3%)
**Z:** Variable Normalizada

$$Z = \frac{(\mu - \mu_0) * \sqrt{n}}{\sigma}$$

Despejando n de la ecuación nos queda n = $n_0$ entonces:

$$n_1 = \frac{n_0}{1 + \frac{n_0}{n}} \qquad \rightarrow \qquad n_0 = \frac{Z_{1-\alpha} \cdot S^2}{\varepsilon^2}$$

**Nota:**
De esta manera se obtiene el número de muestra lo suficientemente representativa de la población (Dando un valor de 30 o más puntos). En el caso de tener una muestra mayora 30 puntos no se usaría la variable normalizada Z sino que se puede calcular por el test de hipótesis t-student para muestras pequeñas a 30 puntos que varían de 10 hasta los 25 puntos.

Para la elección propiamente dicha de los puntos respecto a su ubicación y distribución, se tuvieron en cuenta los siguientes aspectos:

- La zona elegida debía ser apta para la realización de las mediciones necesarias, en función de la información requerida.

- La distribución de los puntos debía ser de forma homogénea en toda la extensión de la zona de trabajo elegida, con un fácil acceso a cada uno de éstos.

- Por cuestiones técnicas atinentes a la medición, los puntos elegidos debían estar alejados en su mayoría de construcciones y en general de zonas muy urbanizadas, ésto para evitar el error de multipath.

## 18.4. Medición en Campo

Con las consideraciones anteriormente nombradas, se tuvo como resultado un total 38 puntos, valor que sobrepasa el número mínimo de la muestra necesario para aplicar el tratamiento estadístico correspondiente, para la posterior validación cartográfica.
La distribución es la siguiente:

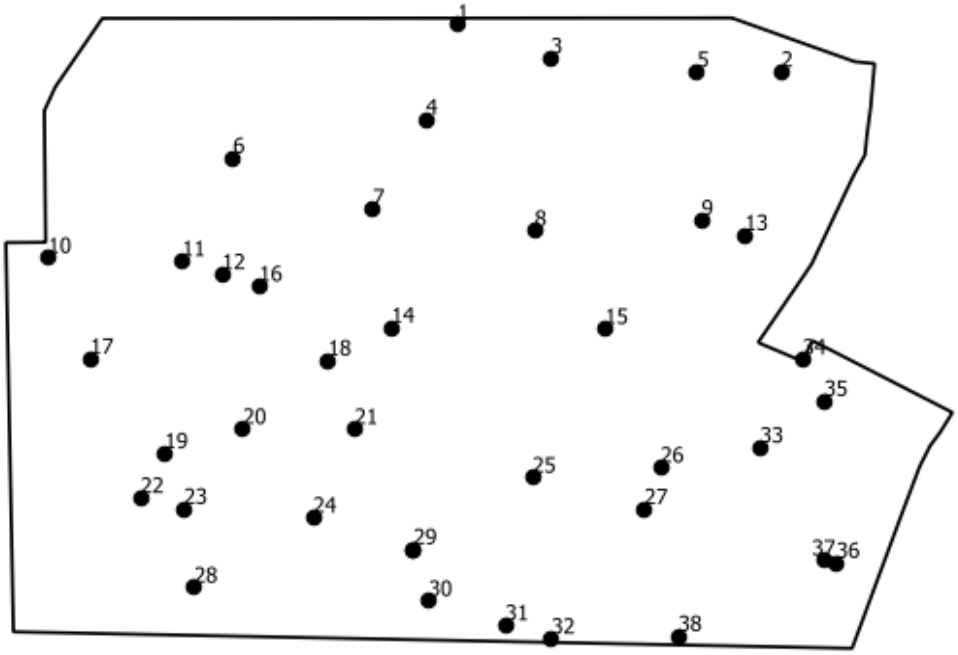



Figura 18.1

Para la elección de los puntos que corresponden a las bases, se tuvo que prever que su distribución permita la medición de una cantidad similar de puntos por campaña, teniendo en cuenta las distancias entre los mismos. Se eligieron tres marcas catastrales correspondientes a la Red Rural de la provincia de San Juan, dichas marcas tiene el valor de sus coordenadas conocidas, con una precisión de ± 5 cm.

Es necesario aclarar que la elección de la bases se hizo sobre estas marcas debido a que su precisión es muy alta y por lo tanto las mediciones sobre ellas realizadas, tendrán más peso.

De estos puntos se tomaron 3 puntos como base en una zona céntrica de la cartografía con un radio de 3 kilómetros (lo que conlleva a realizar 3 campañas). Estos puntos que se tomarán como bases fijas y de mayor peso deben ser de coordenadas conocidas lo cual está demás aclarar que son tres marcas catastrales. Las marcas elegidas son del tipo rural de fácil acceso y monumentadas con mojones de hormigón y barrotes de hierro, el cual se detallan a continuación según los datos obtenidos de la cartografía de Marcas Catastrales:

**Punto 20 - BASE 1**
Marca Rural 0534-3626
GK-Posgar 2007

X= 6499903,28
Y = 2537527,11
Cota Elips.= 659,60 m

**Punto 8 - BASE 2**
Marca Rural 0530-3804
GK-Posgar 2007

X= 6502551,50
Y = 2541403,42
Cota Elips.= 658,70 m

**Punto 38 - BASE 3**
Marca Rural 0546-8551
GK-Posgar 2007

X= 6502551,50
Y = 2541403,42
Cota Elips.= 658,70 m

Se presentan las tres circunferencias (buffer) con un radio de 3 kilómetros, a partir de las cuales se planificaron cuantos putos medir por campaña.

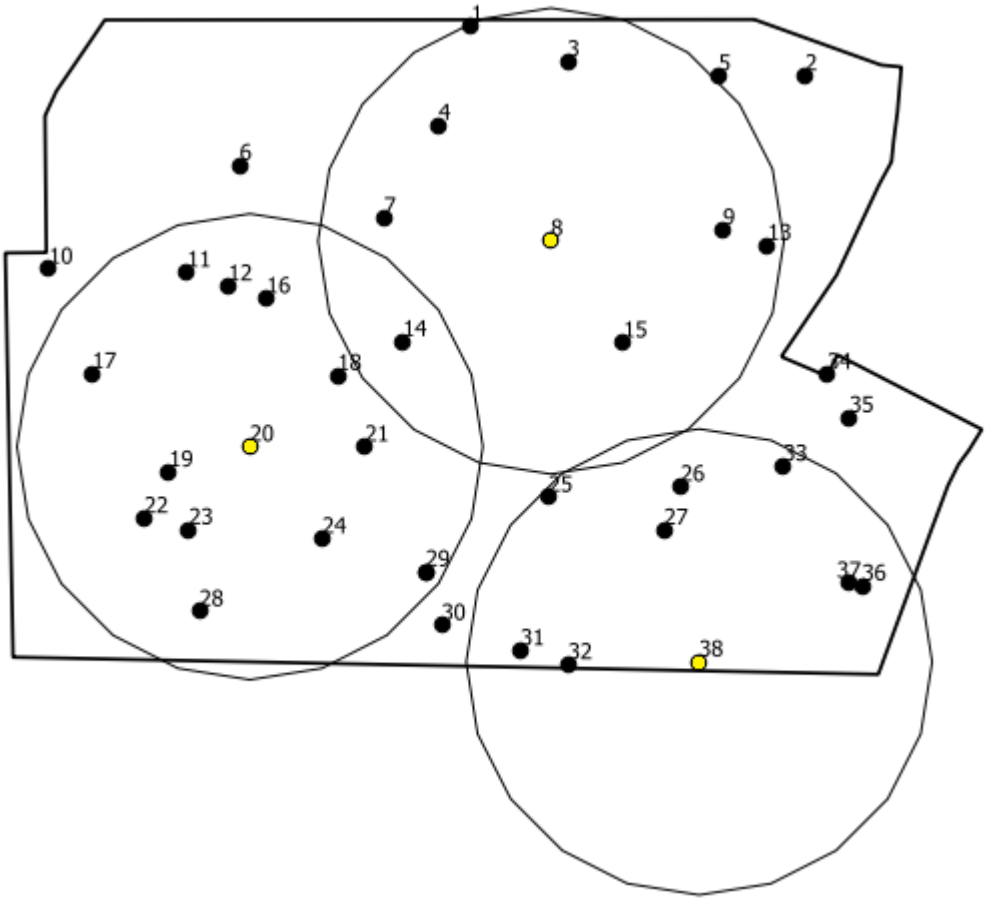



Figura 18.2

Los puntos que no se encuentran en dichas circunferencias se los mide con un mayor tiempo, entre 15 y 20 minutos, con la finalidad de no perder precisión con respecto a los puntos medidos dentro de los mencionados buffer, con centro en los puntos bases ya definidos.

Se tendrá en cuenta que durante la campaña se realizó de la siguiente manera:

- En el reconocimiento de terreno que se realizó, previo a la campaña de medición, se pudo observar que la mayoría de las marcas catastrales no se lograron apreciar en superficie debido a que se encuentran enterradas. Para este caso se produjo un replanteo de las mismas por medio del abalizamiento descripto en detalle las monografías catastrales.

- Para la intersección de los ejes de calles se realizó a través del replanto de los respectivos ejes tomando la mitad de la distancia entren banquinas para posteriormente prolongar dichos ejes y lograr intersecar en un punto los mismos.

- La medición de los vértices de parcelas, se realizó a partir del hecho existente, esto quiere decir, que en zonas rurales se tomó como vértices determinantes de los límites de las mismas, a aquellos postes de madera que se encontraron materializando dichos vértices y en zonas urbanas se midieron los encuentros de muros.

# 19. PROCESADO DE PUNTOS Y RESULTADOS DE CAMPAÑA

Las tres campañas se realizaron en días diferentes en el transcurso de dos semanas, posterior a esto se llevó a cabo el procesamiento en gabinete de los datos obtenidos de cada una de ellas, éste consistió en lo siguiente:

Es necesario aclarar que para obtener mayor peso en la fiabilidad de los resultados obtenidos, los datos de los puntos tomados como bases fueron vinculados a la estación permanente UNSJ ubicada en la facultad de Ciencias Sociales, perteneciente al departamento Rivadavia de la Provincia de San Juan. Esta elección se basó en que las estaciones permanentes guardan una gran precisión hasta una distancia de 20km. Del análisis de gabinete se determinó un buffer circular con tal distancia de radio, desde dicha estación tomada como centro, se pudo observar que las bases elegidas quedan dentro del mismo, luego se observa también que respecto del resto de las estaciones permanentes de la provincia de San Juan, la UNSJ es la más cercana a las 3 bases utilizadas en la campaña.

Gráficamente, lo que se observó en este análisis, fue lo siguiente:

Figura 18.3

Para realizar el ajuste de cada punto base se tienen que tener los datos de los archivos de Navegación y Observación de la estación permanente. Estos se extraen de la página web del

IGN (Instituto Geográfico Nacional) http://www.ign.gob.ar. Descargando de ésta ambos archivos en formato Rinex del día en que se realizó la medición.

**INFORMACIÓN GENERAL**

| | |
|---|---|
| **Código de identificación:** | UNSJ |
| **Código internacional:** | 41527M001 |
| **País:** | Argentina |
| **Provincia:** | San Juan |
| **Ciudad / Localidad:** | San Juan |
| **Fecha de instalación:** | 6 de marzo de 2007 |
| **Foto:** | |
| **Formulario completo:** | Descargar formulario completo |
| **Formulario IGS:** | Descargar formulario completo |
| **Estado:** | **ONLINE** |

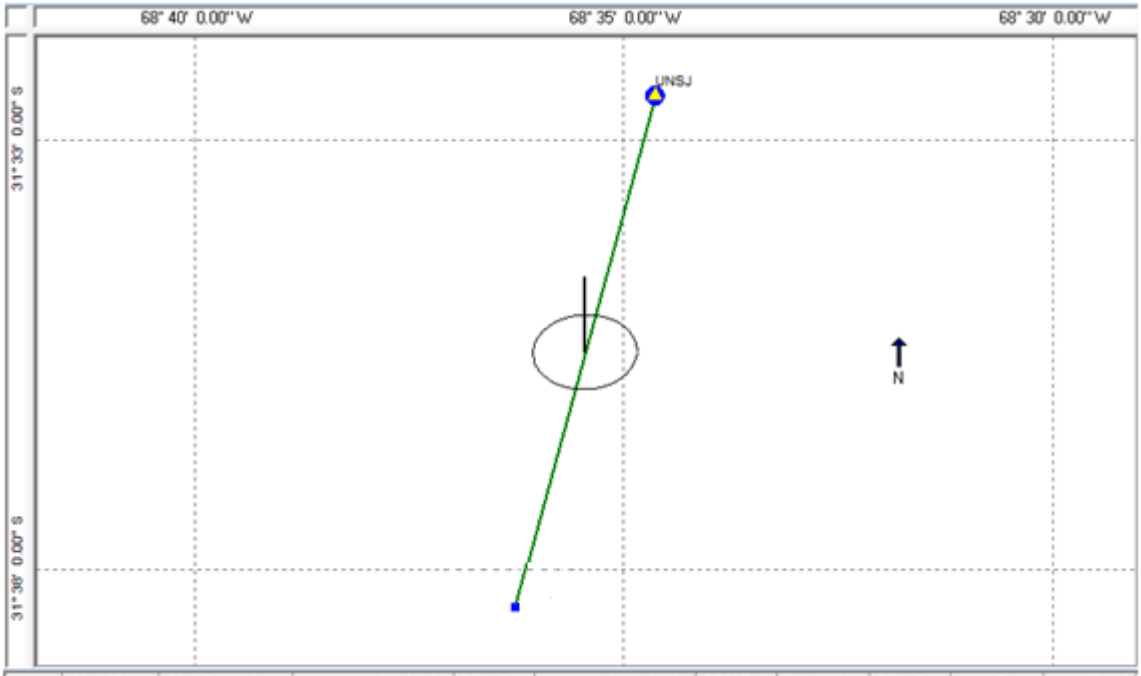
**COORDENADAS GEODÉSICAS EN EL MARCO POSGAR 2007 (ÉPOCA 2006.632)**

| | |
|---|---|
| **Latitud:** | -31º 32' 28.52814" |
| **Longitud:** | -68º 34' 37.41847" |
| **Altura elipsoidal:** | 708.914 m |
| **Cota SRVN16:** | - |

Figura 18.4

Estas coordenadas geodésicas de la estación serán redefinidas en el software de procesamiento que se utilizará una vez cargados los archivos de observación.

A continuación se presenta el vector producto de la vinculación en la campaña 1 en el cual se ajusta primero la Base 1 (Punto 20) con la estación permanente de la UNSJ.




| | Site ID | Site Descriptor | Latitude | 95% Err. | Longitude | 95% Err. | Ellips. Ht. | 95% Err. | Type | Fixed |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | UNSJ | | 31° 32' 28.52814" S | 0.000 | 68° 34' 37.41847" W | 0.000 | 708.914 | 0.000 | Hor/Ver | Hor/Ver |

Figura 18.5

Posteriormente se procedió al ajuste de los demás puntos medidos en la primer campaña respecto de la base, obteniendo así los resultados en coordenadas geodésicas de Latitud y Longitud POSGAR 2007.

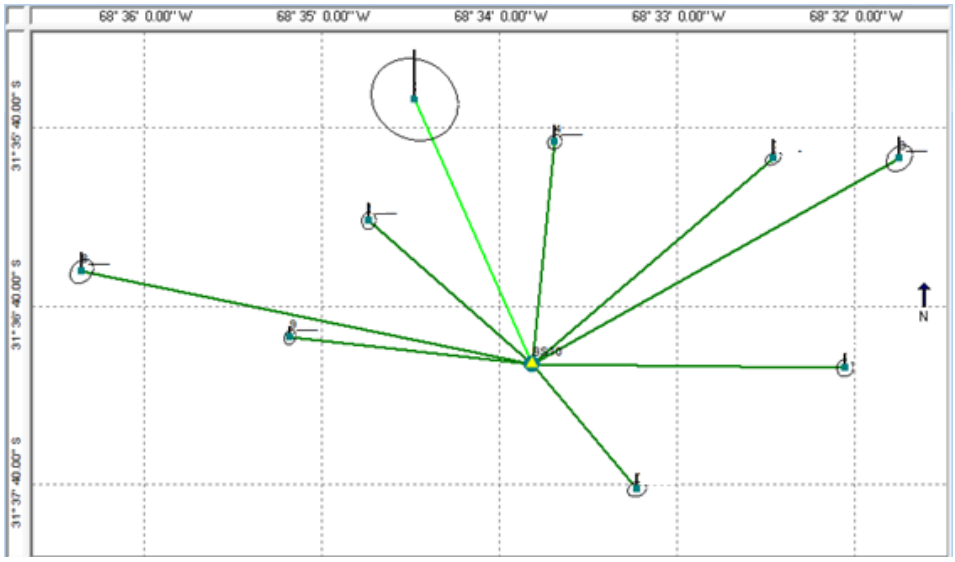



Figura 18.6

El procesamiento para las campañas dos y tres realizadas posteriormente, serán análogos al primero.

Los resultados obtenidos del procesamiento de las tres campañas fueron los siguientes:

| Punto | Tipo | Latitud | Longitud | Cota Elipsoidal |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Marca Catastral | -31º 35' 30,08" | -68º 34' 28,56" | 678,12 m |
| 2 | Marca Catastral | -31° 35' 50,04" | -68° 31' 45,26" | 646,16 m |
| 3 | Cruce de Calles | -31° 35' 44,59" | -68° 33' 41,35" | 668,56 m |
| 4 | Cruce de Calles | -31° 36' 11,31" | -68° 34' 44,22" | 674,92 m |
| 5 | Parcelario | -31° 35' 50,20" | -68° 32' 27.54" | 654,87 m |
| 6 | Cruce de Calles | -31° 36' 28,35" | -68° 36' 21,31" | 684,91 m |
| 7 | Parcelario | -31° 36' 50,39" | -68° 35' 10,80" | 671,89 m |
| 8 | Marca Catastral | - 31° 36' 59,49" | -68° 33' 49,12" | 658,69 m |
| 9 | Cruce de Calles | -31° 36' 54,73" | -68° 32' 25,12" | 668,98 m |
| 10 | Cruce de Calles | -31° 37' 12,00" | -68° 37' 54,39" | 687,23 m |
| 11 | Parcelario | -31° 37' 13,17" | -68° 36' 46,84" | 680,08 m |
| 12 | Cruce de Calles | -31° 37' 18,79" | -68° 36' 26,68" | 675,96 m |
| 13 | Parcelario | -31° 37' 00,96" | -68° 32' 03,30" | 640,58 m |
| 14 | Cruce de Calles | -31° 37' 41,79" | -68° 35' 01,27" | 660,36 m |
| 15 | Parcelario | -31° 37' 41,90" | -68° 33' 13,58" | 644,20 m |
| 16 | Marca Catastral | -31° 37' 23,98" | -68° 36' 07,97" | 673,36 m |
| 17 | Cruce de Calles | -31° 37' 55,67" | -68° 37' 32,97" | 676,60 m |
| 18 | Parcelario | -31° 37' 56,09" | -68° 35' 33,14" | 660,32m |
| 19 | Parcelario | -31° 38' 36,66" | -68° 36' 55,28" | 663,60 m |
| 20 | Marca Catastral | -31° 38' 25,95" | -68° 36' 15,82" | 659,58 m |
| 21 | Cruce de Calles | -31° 38' 25,82" | -68° 35' 19,56" | 652,25 m |
| 22 | Parcelario | -31° 38' 56,08" | -68° 37' 07,33" | 660,60 m |
| 23 | Cruce de Calles | -31° 39' 00,75" | -68° 36' 45,43" | 657,93 m |
| 24 | Parcelario | -31° 39' 04,35" | -68° 35' 40,29" | 647,66 m |
| 25 | Marca Catastral | -31° 38' 46.59" | -68° 33' 49.78" | 637,12 m |
| 26 | Cruce de Calles | -31° 38' 41.98" | -68° 32' 45.25" | 629,36 m |
| 27 | Parcelario | -31° 39' 00.12" | -68° 32' 53.32" | 628,23 m |
| 28 | Cruce de Calles | -31° 39' 34,92" | -68° 36' 40,17" | 649,83 m |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 29 | Marca Catastral | -31° 39' 17.91" | -68° 34' 49,63" | 637,99 m |
| 30 | Marca Catastral | -31° 39' 40,35" | -68° 34' 41,80" | 634,29 m |
| 31 | Cruce de Calles | -31° 39' 50,78" | -68° 34' 03,17" | 629,43m |
| 32 | Parcelario | -31° 39' 56,54" | -68° 33' 39,85" | 625,19 m |
| 33 | Cruce de Calles | -31° 38' 33,21" | -68° 31' 55,10" | 624,12 m |
| 34 | Cruce de Calles | -31° 37' 54,81" | -68° 31' 33,82" | 627,04 m |
| 35 | Parcelario | -31° 38' 12,79" | -68° 31' 22,80" | 621,94 m |
| 36 | Cruce de Calles | -31 ° 39' 23,11" | -68° 31' 16,35" | 614,75 m |
| 37 | Parcelario | -31° 39' 21,99" | -68° 31' 22,84" | 615,88 m |
| 38 | Marca Catastral | -31° 39' 55,17" | -68° 32' 35,85" | 619,44 m |

## 19.1. Exactitud Posicional Horizontal (Planimetría)

**Conversión de coordenadas geodésicas a planimétricas**

De lo expuesto, las coordenadas obtenidas del procesamiento son geodésicas (latitud y longitud), sin embargo, para poder realizar la comparación de éstas (obtenidas de los puntos medidos en el terreno) con sus respectivas homólogas en la carta, sus valores se requieren referidos al sistema de proyección cartográfica ( Gauss Kruger para Argentina). Por éste motivo, se realizó la transformación de coordenadas POSGAR 2007 (L,B) a Gauss Krugger (X,Y) utilizando un programa de transformación basado en las siguientes ecuaciones.

$$\mathbf{Y} = B(\varphi) + \tfrac{1}{2} N \cos^2\varphi \, t \, \ell^2 + 1/24 \, N \cos^4\varphi \, t \, (5 - t^2 + 9\eta^2) \, \ell^4 + \ldots$$

$$\mathbf{X} = N \cos\varphi \, \ell + 1/6 \, N \cos^3\varphi \, (1 - t^2 + \eta^2) \, \ell^3 + 1/120 \, N \cos^5\varphi \, (5 - 18 t^2 + t^4) \, \ell^5 + \ldots$$

## 19.2. Exactitud Posicional Vertical (Altimetría)

**Conversión de coordenadas**

Conceptos a tener en cuenta:

- Cota elipsoidal: Distancia orientada entre un punto sobre la superficie terrestre (medida a lo largo de la normal que pasa por tal punto) y su homólogo en el elipsoide. Siendo el elipsoide la superficie de referencia, definida por una ecuación matemática que mejor se ajusta a la forma de la tierra, en un sector determinado.
- Cota ortométrica: es la distancia entre el punto de la superficie del terreno (medida a lo largo de la línea de fuerza que pasa por este punto) y el geoide, siendo éste último la superficie de referencia que mejor se ajusta a la forma de la tierra y que está definido por el nivel medio del mar.

Al momento de la realización del cálculo de exactitud altimétrica de las capas en estudio, se presentaron ciertos inconvenientes a nombrar:

Se observó que la tabla de atributos de la capa de marcas catastrales contiene información de sus coordenadas geodésicas tanto en planimetría como en el altimetría, se considera inconveniente porque las cotas requeridas para realizar la validación, deben ser ortométricas.

Se observó también que tanto la capa de ejes de calles, como la del parcelario, no contiene ningún tipo de información del metadato en cuanto a su ubicación geográfica, por lo cual, los nodos generados sobre ellas, carecían de la misma.

En resúmen, se tuvieron dos problemas a solucionar:

- De la capa de marcas catastrales, transformar las cotas elipsoidales a ortométricas.
- De las capas de ejes de calles y parcelario, obtener por algún método confiable, los valores de las cotas ortométricas en cada uno de los nodos generados.

Solución:

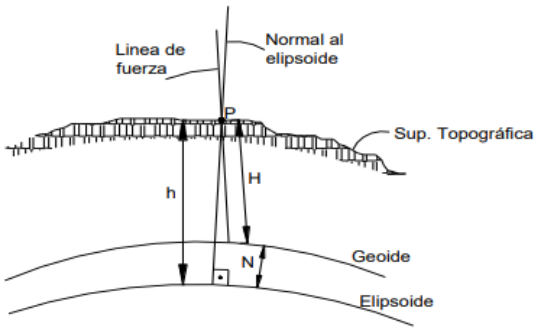



Figura 19.1

- La relación existente entre la altura elipsoidal h, y la cota ortométrica H, se da a través de la ondulación del geoide N, y queda representado de la siguiente manera:

$\Rightarrow\ h = H + N$

De lo expuesto se concluye que las cotas ortométricas para los puntos correspondientes a las marcas catastrales, se obtendrán sumando el valor de la ondulación del geoide a las cotas geodésicas.

Se tendrá en cuenta que los valores de la ondulación del geoide, resultan de un modelo de geoide calculado para una zona específica.

Para obtener los datos altimétricos (Z) que no se encontraban en la tabla de atributos de las capas, se realizó un proceso en el que la capa de nodos se superpone con un Modelo digital de elevaciones (MDE) definido como una representación visual y matemática de los valores de altura con respecto al nivel medio del mar, que permite caracterizar las formas del relieve y los elementos u objetos presentes en el mismo, de éste, se obtendrán las cotas ortométricas de los nodos homólogos en la capa.

Estos valores están contenidos en un archivo de tipo raster con estructura regular, el cual se genera utilizando equipo de cómputo y software especializados.

En los modelos digitales de elevación existen dos cualidades esenciales que son, la exactitud y la resolución horizontal o grado de detalle digital de representación en formato digital, las cuales varían dependiendo del método que se emplea para generarlos y para el caso de los que son generados con tecnología LIDAR se obtienen modelos de alta resolución y gran exactitud.

El DEM utilizado se obtuvo de la página del Instituto Geográfico Nacional http://www.ign.gob.ar, **cuenta con una resolución geométrica de 5 metros (tamaño de pixel) y una precisión estimada global de 56 cm de error** y se basa en el modelo de geoide global realizado por el IGN.

A saber: Existe la posibilidad y muy acertada, de que el cálculo de las ondulaciones del geoide (N), se obtengan también desde un modelo de geoide regional, el cual proporcionaría mayor seguridad en cuanto a las precisiones resultantes, debido a que el modelo se ajustaría de mejor manera a la zona de estudio.

En la zona de San Juan, se cuenta con un modelo de geoide regional denominado "Modelo preliminar de geoide en área de 150.000ha de la Provincia de San Juan - Argentina y determinación de alturas sobre el nivel medio del mar con GPS", creado entre los años 1997 y 1998.

Debido a que no se cuenta con la información de la muestra completa que compone dicho modelo de geoide (datos medidos), no fue posible utilizarlo para el trabajo desarrollado en esta propuesta, sin embargo se destaca la importancia de poder contar con un modelo de estas características para la obtención de cotas ortométricas provista por el IGN.

Para finalizar, es necesario aclarar que las cotas ortométricas correspondientes a los puntos de las tres capas a validar, serán obtenidos por la superposición de las mismas con el DEM del IGN.

**Nota:** De ahora en más en el análisis se tendrá en cuenta que la cota tanto Elipsoidal (h) como Ortométrica (H) serán renombradas con la letra Z.

## 19.3. Transferencia de cotas del MDE a la capa de puntos de carta.

**1.** Con el software de procesamiento se abre el MDT descargado de la página del IGN.

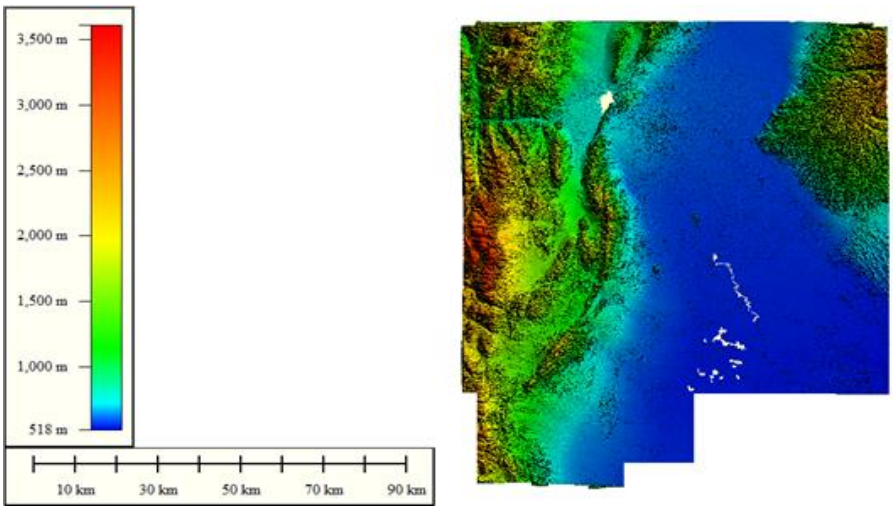



Figura 19.2

**2.** Se colocan sobre el MDT los puntos medidos en campaña en formato Shapefile.

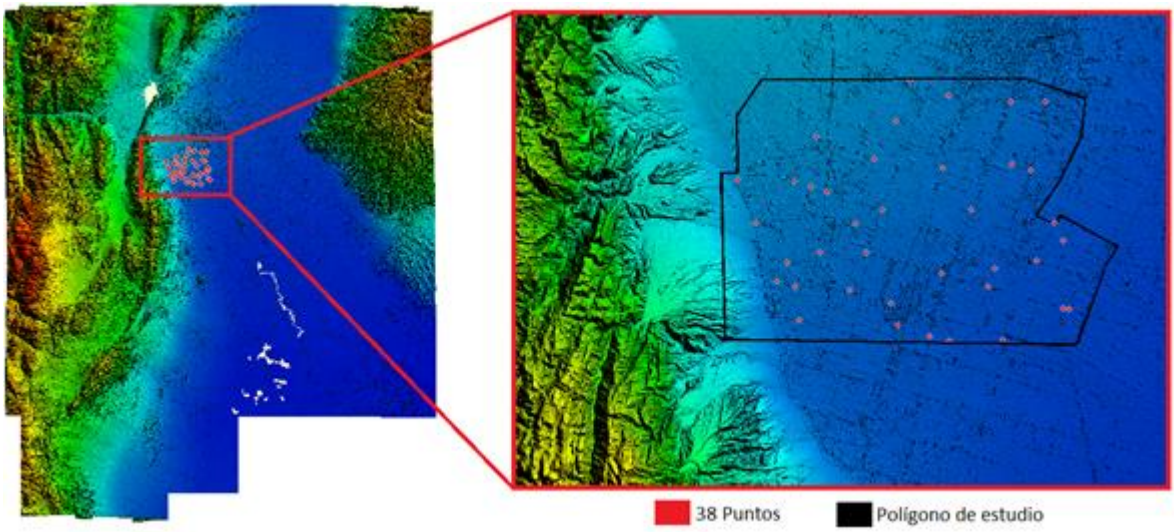



Figura 19.3

**3.** Se debe generar una nueva capa, en otro formato vectorial de puntos, pero en este caso se debe tener en cuenta los datos de elevación del DEM.

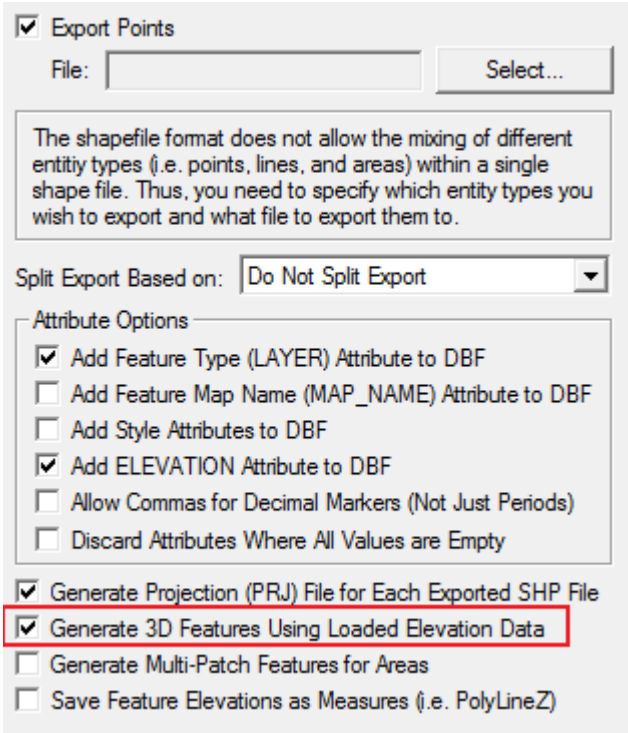



Figura 19.4

**4.** La tabla de la nueva capa expresa en el campo shape la condición espacial de cada punto, asociada a su cota o a la condición Z (pero este estará encriptada).

| Shape * | LAYER | PUNTO | TIPO | X | Y |
|---|---|---|---|---|---|
| Punto ZM | Unknown Point Feature | 1 | MARCA_CATASTR | 6505309.46 | 2540374.54 |
| Punto ZM | Unknown Point Feature | 2 | MARCA_CATASTR | 6504677.25 | 2544677.24 |
| Punto ZM | Unknown Point Feature | 3 | CRUCE_DE_CALLES | 6504856.97 | 2541621.79 |
| Punto ZM | Unknown Point Feature | 4 | CRUCE_DE_CALLES | 6504039.3 | 2539956.19 |
| Punto ZM | Unknown Point Feature | 5 | PARCELARIO | 6504677.12 | 2543562.88 |
| Punto ZM | Unknown Point Feature | 6 | CRUCE_DE_CALLES | 6503524.91 | 2537395.81 |
| Punto ZM | Unknown Point Feature | 7 | PARCELARIO | 6502843.02 | 2539250.61 |
| Punto ZM | Unknown Point Feature | 8 | MARCA CATASTRA | 6502551.5 | 2541403.42 |
| Punto ZM | Unknown Point Feature | 9 | CRUCE_DE_CALLES | 6502692.42 | 2543620.85 |
| Punto ZM | Unknown Point Feature | 10 | CRUCE_DE_CALLES | 6502190.84 | 2534935.63 |
| Punto ZM | Unknown Point Feature | 11 | PARCELARIO | 6502141.94 | 2536716.46 |
| Punto ZM | Unknown Point Feature | 12 | CRUCE_DE_CALLES | 6501970.61 | 2537249.37 |
| Punto ZM | Unknown Point Feature | 13 | PARCELARIO | 6502491.16 | 2544196.39 |

Figura 19.5

**5.** Para desencriptar el valor numérico Z y guardarlo en un campo nueva de la misma tabla de atributos, se usará ArcGis siguiendo los siguientes pasos de la de la función ArcToolbox:

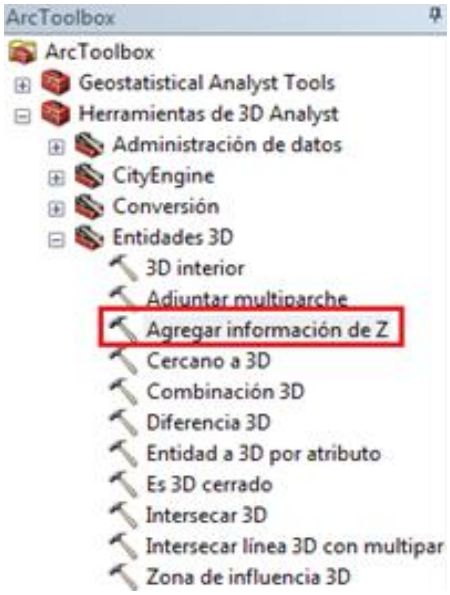



Figura 19.6

**6.** De esta forma se desencripta el campo Shape, asociada a los valores de la cota, con el valor de la cota correspondiente y el nombre del campo será “ Z ”.

| PUNTO | TIPO | X | Y | Z |
|---|---|---|---|---|
| 1 | MARCA_CATASTR | 6505309.46 | 2540374.54 | 653.351135 |
| 2 | MARCA_CATASTR | 6504677.25 | 2544677.24 | 624.396606 |
| 3 | CRUCE_DE_CALLES | 6504856.97 | 2541621.79 | 641.461731 |
| 4 | CRUCE_DE_CALLES | 6504039.3 | 2539956.19 | 649.872253 |
| 5 | PARCELARIO | 6504677.12 | 2543562.88 | 633.583679 |
| 6 | CRUCE_DE_CALLES | 6503524.91 | 2537395.81 | 660.917725 |
| 7 | PARCELARIO | 6502843.02 | 2539250.61 | 646.531494 |
| 8 | MARCA CATASTRA | 6502551.5 | 2541403.42 | 634.373108 |
| 9 | CRUCE_DE_CALLES | 6502692.42 | 2543620.85 | 622.675842 |
| 10 | CRUCE_DE_CALLES | 6502190.84 | 2534935.63 | 662.95575 |
| 11 | PARCELARIO | 6502141.94 | 2536716.46 | 655.657043 |
| 12 | CRUCE_DE_CALLES | 6501970.61 | 2537249.37 | 650.894897 |
| 13 | PARCELARIO | 6502491.16 | 2544196.39 | 616.020142 |

Figura 19.7

Se observa que las cotas resultantes, tienen una precisión (entendida bajo el concepto de la cantidad de cifras decimales en cada medida) que no condice con la realidad, por lo que se debió redondear los decimales al centímetro, teniendo así el valor definitivo de las cotas ortométricas para cada punto medido.

Las cotas ortométricas de los 38 puntos de la carta son las siguientes:

| TIPO | PUNTO | | COORDENADAS DE CARTA | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | X | Y | Z (DEM) |
| MARCA CATASTRAL | **1** | **0522-650430** | 6505309.46 | 2540374.54 | **653.35 m** |
| MARCA CATASTRAL | **2** | **0526-720750** | 6504677.25 | 2544677.24 | **624.40 m** |
| CRUCE DE CALLES | **3** | | 6504856.97 | 2541621.79 | **641.46 m** |
| CRUCE DE CALLES | **4** | | 6504039.30 | 2539956.19 | **649.87 m** |
| PARCELARIO | **5** | | 6504677.12 | 2543562.88 | **633.58 m** |
| CRUCE DE CALLES | **6** | | 6503524.91 | 2537395.81 | **660.92 m** |
| PARCELARIO | **7** | | 6502843.02 | 2539250.61 | **646.53 m** |
| MARCA CATASTRAL | **8** | **RURAL 55** | 6502551.50 | 2541403.42 | **634.37 m** |
| CRUCE DE CALLES | **9** | | 6502692.42 | 2543620.85 | **622.68 m** |
| CRUCE DE CALLES | **10** | | 6502190.84 | 2534935.63 | **662.96 m** |
| PARCELARIO | **11** | | 6502141.94 | 2536716.46 | **655.66 m** |
| CRUCE DE CALLES | **12** | | 6501970.61 | 2537249.37 | **650.89 m** |
| PARCELARIO | **13** | | 6502491.16 | 2544196.39 | **616.02 m** |
| CRUCE DE CALLES | **14** | | 6501253.47 | 2539496.04 | **635.01 m** |
| PARCELARIO | **15** | | 6501240.59 | 2542334.50 | **620.27 m** |
| MARCA CATASTRAL | **16** | **0534-680290** | 6501811.09 | 2537740.95 | **649.14 m** |
| CRUCE DE CALLES | **17** | | 6500843.03 | 2535497.91 | **651.78 m** |
| PARCELARIO | **18** | | 6500822.69 | 2538650.69 | **635.83 m** |
| PARCELARIO | **19** | | 6499576.14 | 2536484.17 | **638.66 m** |
| MARCA CATASTRAL | **20** | **RURAL 56** | 6499903.28 | 2537527.11 | **634.85 m** |
| CRUCE DE CALLES | **21** | | 6499900.47 | 2539009.04 | **627.09 m** |
| PARCELARIO | **22** | | 6498979.85 | 2536165.35 | **636.04 m** |
| CRUCE DE CALLES | **23** | | 6498833.96 | 2536743.04 | **633.95 m** |
| PARCELARIO | **24** | | 6498721.94 | 2538455.85 | **623.15 m** |
| MARCA CATASTRAL | **25** | **0540-260380** | 6499252.81 | 2541373.06 | **612.93 m** |
| CRUCE DE CALLES | **26** | | 6499390.11 | 2543076.30 | **604.71 m** |
| PARCELARIO | **27** | | 6498830.35 | 2542857.81 | **604.41 m** |
| CRUCE DE CALLES | **28** | | 6497777.47 | 2536879.79 | **625.08 m** |
| MARCA CATASTRAL | **29** | **0534-100620** | 6498294.46 | 2539792.75 | **612.96 m** |
| MARCA CATASTRAL | **30** | **0545-540200** | 6497602.57 | 2539995.76 | **612.06 m** |
| CRUCE DE CALLES | **31** | | 6497277.53 | 2541009.23 | **604.70 m** |
| PARCELARIO | **32** | | 6497096.82 | 2541625.07 | **600.74 m** |
| CRUCE DE CALLES | **33** | | 6499652.27 | 2544396.11 | **600.14 m** |
| CRUCE DE CALLES | **34** | | 6500833.17 | 2544962.27 | **603.28 m** |
| PARCELARIO | **35** | | 6500278.04 | 2545250.36 | **598.35 m** |
| CRUCE DE CALLES | **36** | | 6498111.06 | 2545412.26 | **591.12 m** |
| PARCELARIO | **37** | | 6498150.85 | 2545237.55 | **592.40 m** |
| MARCA CATASTRAL | **38** | **RURAL 61** | 6497132.59 | 2543312.05 | **594.97 m** |

## 19.4. Transformación de coordenadas Elipsoidales a Ortométricas a partir de la Ondulación de Geoide.

El modelo de geoide gravimétrico GEOIDE-Ar 16, fue desarrollado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN), que es una institución gubernamental estatal nacional, junto con la RMIT University.
GEOIDE-Ar 16 se ajustó al Marco de Referencia Geodésico Nacional POSGAR 2007 y al Sistema de Referencia Vertical Nacional 2016 a partir de la determinación de una superficie correctiva calculada mediante el método clásico de transformación de 4 parámetros y una colocación por mínimos cuadrados.
La precisión de GEOIDE-Ar 16 se evaluó mediante 1.904 puntos de nivelación observados con GPS/GNSS, la exactitud estimada del mismo es de 0,25 m, mientras que su precisión relativa para las líneas base con una longitud menor a los 500 km es de aproximadamente 0,10 m (para el 91% de los casos).

Para poder transformar las coordenadas geodésicas en ortométricas, se realizará el siguiente proceso.

En la página del IGN, dentro de la sección de geodesia se encuentra el Geoide-Ar 16, luego con la herramienta calculadora e ingresando las coordenadas planimétricas en latitud y longitud POSGAR 2007, se podrá obtener una vez realizado el correspondiente procesamiento la ondulación de geoide para cada punto.

| Punto | Latitud (-) | Longitud (-) | N(ondulación del geoide) |
|---|---|---|---|
| **1** | 31.5916896 | 68.5746006 | 24.30 m |
| **2** | 31.597233 | 68.5292386 | 24.05 m |
| **3** | 31.5957192 | 68.5614876 | 24.21 m |
| **4** | 31.6031425 | 68.5789493 | 24.29 m |
| **5** | 31.5972769 | 68.5409827 | 24.11 m |
| **6** | 31.6078764 | 68.6059209 | 24.46 m |
| **7** | 31.6139978 | 68.586334 | 24.31 m |
| **8** | 31.6165263 | 68.5636452 | 24.17 m |
| **9** | 31.6152026 | 68.5403106 | 24.05 m |
| **10** | 31.6200008 | 68.6317755 | 24.64 m |
| **11** | 31.6203263 | 68.6130114 | 24.49 m |
| **12** | 31.6218862 | 68.6074121 | 24.44 m |
| **13** | 31.6169348 | 68.5342503 | 24.02 m |
| **14** | 31.628274 | 68.5836868 | 24.26 m |
| **15** | 31.6283066 | 68.5537731 | 24.09 m |
| **16** | 31.62332910 | 68.6022155 | 24.40 m |
| **17** | 31.6321309 | 68.6258259 | 24.57 m |
| **18** | 31.6322485 | 68.59253890 | 24.31 m |
| **19** | 31.6435163 | 68.6153566 | 24.47 m |
| **20** | 31.6405421 | 68.6043958 | 24.38 m |

| | | | |
|---|---|---|---|
| **21** | 31.640507 | 68.58876750 | 24.27 m |
| **22** | 31.6489124 | 68.6187035 | 24.49 m |
| **23** | 31.6502074 | 68.6126194 | 24.44 m |
| **24** | 31.6512098 | 68.5945248 | 24.29 m |
| **25** | 31.6462761 | 68.5638277 | 24.09 m |
| **26** | 31.6449934 | 68.545902 | 24.00 m |
| **27** | 31.6500346 | 68.5481449 | 24.00 m |
| **28** | 31.659701 | 68.6111586 | 24.41 m |
| **29** | 31.6549759 | 68.5804524 | 24.18 m |
| **30** | 31.6612088 | 68.5782786 | 24.15 m |
| **31** | 31.6641051 | 68.567547 | 24.07 m |
| **32** | 31.66570660 | 68.5610689 | 24.03 m |
| **33** | 31.6425591 | 68.5319716 | 23.94 m |
| **34** | 31.6318913 | 68.5260611 | 23.94 m |
| **35** | 31.6368877 | 68.5230009 | 23.91 m |
| **36** | 31.6564195 | 68.5212092 | 23.85 m |
| **37** | 31.6561084 | 68.5230125 | 23.86 m |
| **38** | 31.6653265 | 68.5432912 | 23.93 m |

1- Con el valor de las cotas geodésicas y de las ondulaciones obtenidas del modelo del geoide, se calculan las correspondientes cotas ortométricas para cada punto respectivamente.

| **Punto** | **Zt** (Elipsoidal) | **N** (Ondulación) | **Zt** (Ortométrica) |
|---|---|---|---|
| 1 | 678,12 | 24,295 m | 653,825 |
| 2 | 646,16 | 24,054 m | 622,106 |
| 3 | 668,56 | 24,214 m | 644,346 |
| 4 | 674,92 | 24,292 m | 650,628 |
| 5 | 654,87 | 24,109 m | 630,761 |
| 6 | 684,91 | 24,457 m | 660,453 |
| 7 | 671,89 | 24,312 m | 647,578 |
| 8 | 658,69 | 24,171 m | 634,519 |
| 9 | 668,98 | 24,054 m | 644,926 |
| 10 | 687,23 | 24,637 m | 662,593 |
| 11 | 680,08 | 24,485 m | 655,595 |
| 12 | 675,96 | 24,440 m | 651,520 |
| 13 | 640,58 | 24,018 m | 616,562 |
| 14 | 660,36 | 24,261 m | 636,099 |
| 15 | 644,20 | 24,085 m | 620,115 |
| 16 | 673,36 | 24,399 m | 648,961 |
| 17 | 676,60 | 24,573 m | 652,027 |
| 18 | 660,32 | 24,312 m | 636,008 |
| 19 | 663,60 | 24,468 m | 639,132 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 20 | 659,58 | 24,384 m | 635,196 |
| 21 | 652,25 | 24,269 m | 627,981 |
| 22 | 660,60 | 24,491 m | 636,109 |
| 23 | 657,93 | 24,437 m | 633,493 |
| 24 | 647,66 | 24,290 m | 623,370 |
| 25 | 637,12 | 24,094 m | 613,026 |
| 26 | 629,36 | 23,997 m | 605,363 |
| 27 | 628,23 | 23,995 m | 604,235 |
| 28 | 649,83 | 24,413 m | 625,417 |
| 29 | 637,99 | 24,180 m | 613,810 |
| 30 | 634,29 | 24,153 m | 610,137 |
| 31 | 629,43 | 24,074 m | 605,356 |
| 32 | 625,19 | 24,030 m | 601,160 |
| 33 | 624,12 | 23,935 m | 600,185 |
| 34 | 627,04 | 23,940 m | 603,100 |
| 35 | 621,94 | 23,912 m | 598,028 |
| 36 | 614,75 | 23,848 m | 590,902 |
| 37 | 615,88 | 23,857 m | 592,023 |
| 38 | 619,44 | 23,929 m | 595,511 |

**Nota:**

- Especificaciones del Modelo de Geoide Local - ANEXO 2.
- Especificaciones técnicas de puntos del DEM del IGN - ANEXO 3.
- Modelo de geoide gravimétrico GEOIDE-Ar 16 - ANEXO 4.

# 20. TRATAMIENTO NUMÉRICO

## 20.1. Análisis Exploratorio de Datos Planimétricos

### Cálculo de las nuevas variables estocásticas DifX y DifY

Las diferencias de coordenadas X e Y entre los puntos medidos, con sus homólogos en la carta son las siguientes:

| Punto | Xc | Yc | Xt | Yt | DifX | DifY |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 6505309.46 | 2540374.54 | 6505309.56 | 2540374.60 | **-0.10 m** | **-0.06 m** |
| 2 | 6504677.25 | 2544677.24 | 6504677.27 | 2544677.31 | **-0.02 m** | **-0.07 m** |
| 3 | 6504856.97 | 2541621.79 | 6504857.85 | 2541617.38 | **-0.88 m** | **4.41 m** |
| 4 | 6504039.30 | 2539956.19 | 6504041.26 | 2539956.98 | **-1.96 m** | **-0.79 m** |
| 5 | 6504677.12 | 2543562.88 | 6504677.14 | 2543562.71 | **-0.02 m** | **0.17 m** |
| 6 | 6503524.91 | 2537395.81 | 6503525.89 | 2537395.51 | **-0.98 m** | **0.30 m** |
| 7 | 6502843.02 | 2539250.61 | 6502840.27 | 2539251.63 | **2.75 m** | **-1.02m** |
| 8 | 6502551.50 | 2541403.42 | 6502551.58 | 2541403.40 | **-0.08 m** | **0.02 m** |
| 9 | 6502692.42 | 2543620.85 | 6502691.92 | 2543618.61 | **0.50 m** | **2.24 m** |
| 10 | 6502190.84 | 2534935.63 | 6502190.09 | 2534937.53 | **0.75 m** | **-1.90 m** |
| 11 | 6502141.94 | 2536716.46 | 6502147.84 | 2536717.78 | **-5.90 m** | **-1.32 m** |
| 12 | 6501970.61 | 2537249.37 | 6501970.97 | 2537248.43 | **-0.36 m** | **0.94 m** |
| 13 | 6502491.16 | 2544196.39 | 6502494.73 | 2544192.37 | **-3.57 m** | **4.02 m** |
| 14 | 6501253.47 | 2539496.04 | 6501256.36 | 2539496.78 | **-2.89 m** | **-0.74 m** |
| 15 | 6501240.59 | 2542334.50 | 6501241.54 | 2542334.79 | **-0.95 m** | **-0.29 m** |
| 16 | 6501811.09 | 2537740.95 | 6501811.20 | 2537740.90 | **-0.11 m** | **0.05 m** |
| 17 | 6500843.03 | 2535497.91 | 6500843.16 | 2535497.43 | **-0.13 m** | **0.48 m** |
| 18 | 6500822.69 | 2538650.69 | 6500818.82 | 2538655.31 | **3.87 m** | **-4.62 m** |
| 19 | 6499576.14 | 2536484.17 | 6499577.28 | 2536486.21 | **-1.14 m** | **-2.04 m** |
| 20 | 6499903.28 | 2537527.11 | 6499903.35 | 2537527.12 | **-0.07 m** | **-0.01 m** |
| 21 | 6499900.47 | 2539009.04 | 6499901.76 | 2539009.65 | **-1.29 m** | **-0.61 m** |
| 22 | 6498979.85 | 2536165.35 | 6498980.07 | 2536166.64 | **-0.22 m** | **-1.29 m** |
| 23 | 6498833.96 | 2536743.04 | 6498834.44 | 2536743.22 | **-0.48 m** | **-0.18 m** |
| 24 | 6498721.94 | 2538455.85 | 6498717.06 | 2538459.10 | **4.88 m** | **-3.25 m** |
| 25 | 6499252.81 | 2541373.06 | 6499252.90 | 2541372.91 | **-0.09 m** | **0.15 m** |
| 26 | 6499390.11 | 2543076.30 | 6499388.19 | 2543073.85 | **1.92 m** | **2.45 m** |
| 27 | 6498830.35 | 2542857.81 | 6498830.10 | 2542858.78 | **0.25 m** | **-0.97 m** |
| 28 | 6497777.47 | 2536879.79 | 6497781.27 | 2536878.03 | **-3.80 m** | **1.76 m** |
| 29 | 6498294.46 | 2539792.75 | 6498294.43 | 2539792.27 | **0.03 m** | **0.48 m** |
| 30 | 6497602.57 | 2539995.76 | 6497602.52 | 2539995.78 | **0.05 m** | **-0.02 m** |
| 31 | 6497277.53 | 2541009.23 | 6497277.39 | 2541012.29 | **0.14 m** | **-3.06 m** |
| 32 | 6497096.82 | 2541625.07 | 6497097.35 | 2541625.94 | **-0.53 m** | **-0.87 m** |
| 33 | 6499652.27 | 2544396.11 | 6499652.53 | 2544396.40 | **-0.26 m** | **-0.29 m** |
| 34 | 6500833.17 | 2544962.27 | 6500832.99 | 2544962.21 | **0.18 m** | **0.06 m** |
| 35 | 6500278.04 | 2545250.36 | 6500277.72 | 2545250.11 | **0.32 m** | **0.25 m** |
| 36 | 6498111.06 | 2545412.26 | 6498111.24 | 2545410.58 | **-0.18 m** | **1.68 m** |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 37 | 6498150.85 | 2545237.55 | 6498146.48 | 2545239.70 | **4.37 m** | **-2.15 m** |
| 38 | 6497132.59 | 2543312.05 | 6497132.59 | 2543312.07 | **0.00 m** | **-0.02 m** |

Los 38 puntos obtenidos fueron ingresados en un software de tratamiento estadístico, del cual se pudo extraer la siguiente información:

**Variable DifX**

Tamaño de Muestra: n = 38

Sumatoria en DifX = - 6,00 m

Max. DifX = 4,88 m

Min. DifX = - 5,90 m

Media: $\bar{X}$ = - 0,1579

Desviación Estándar: $S_X$ = 2,013 m

**Variable DifY**

Tamaño de Muestra: n = 38

Sumatoria en DifY = - 6,11 m

Max. DifY = 4,41 m

Min. DifY = - 4,62 m

Media: $\bar{Y}$ = - 0,1608 m

Desviación Estándar: $S_Y$ = 1,761 m

La sumatoria de las diferencias debería tender a cero, se observa entonces que tanto en X como en Y los valores resultantes son muy grandes respecto de lo pretendido, por lo que se puede aseverar la existencia de valores atípicos o errores groseros, los cuales deben ser detectados y eliminados para que la muestra quede totalmente saneada en cuanto a errores groseros se trata.

De dicho software se obtiene la representación gráfica de la muestra completa, dejando en clara evidencia a aquellos puntos que se alejan considerablemente de la media o valor más probable. El análisis de las variables, tanto gráfico como numérico se realiza por separado.

**Variable DifX** **Gráfico de Probabilidad Normal**

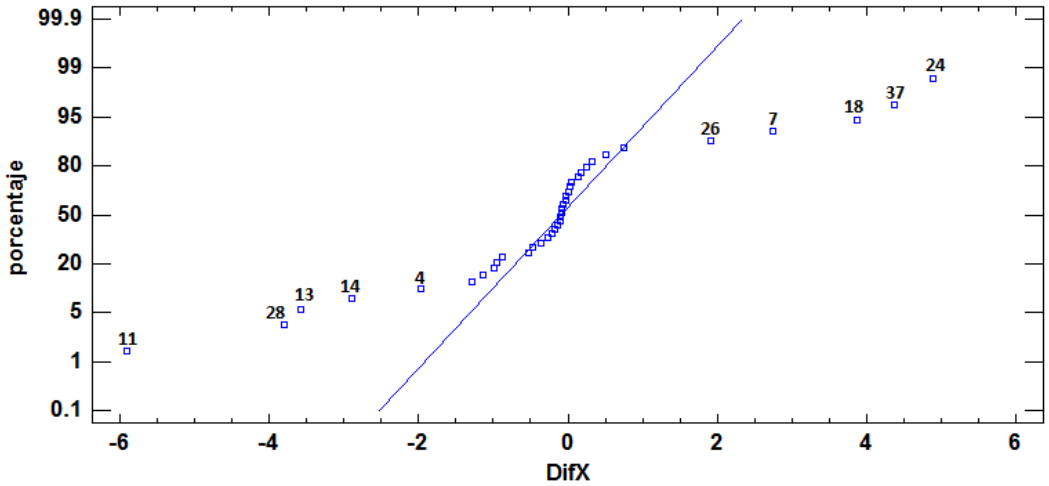



Figura 20.1

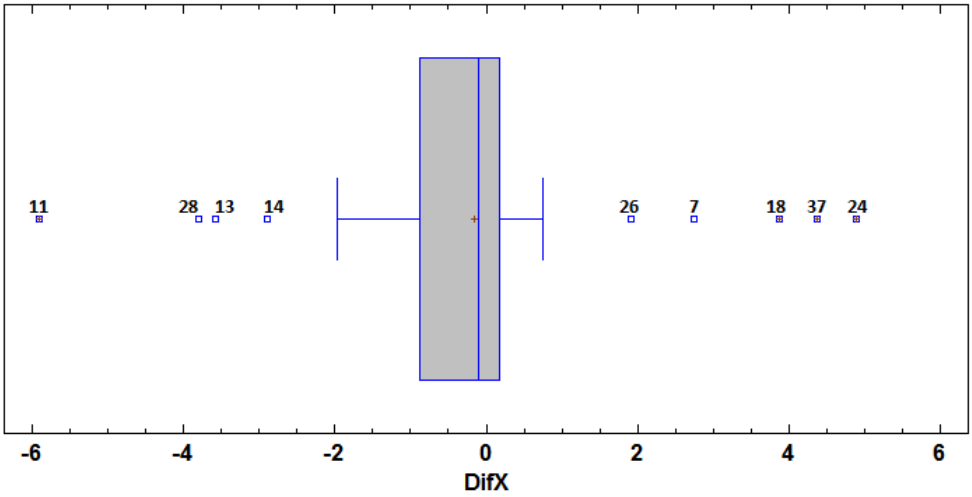



Figura 20.2

**Variable DifY**

**Gráfico de Probabilidad Normal**

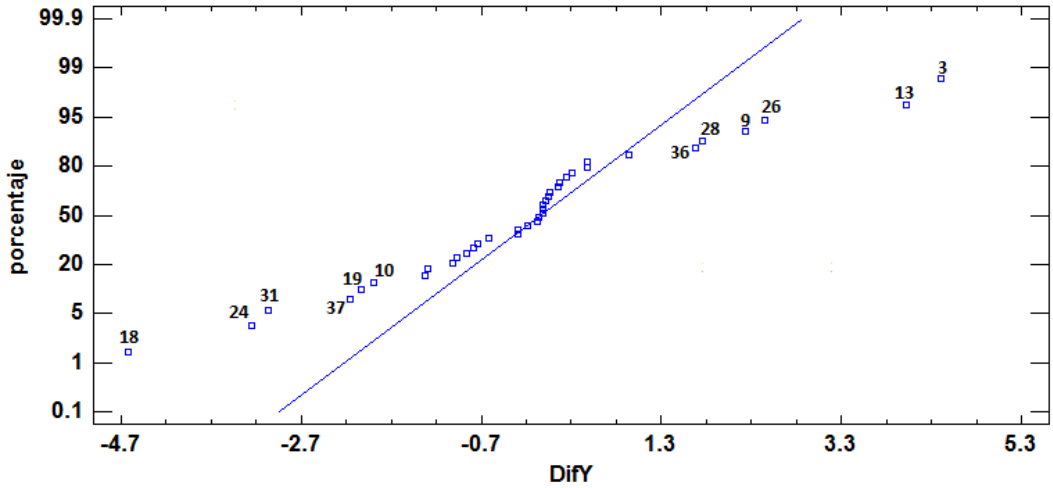



Figura 20.2

**Gráfico Box-Plot**

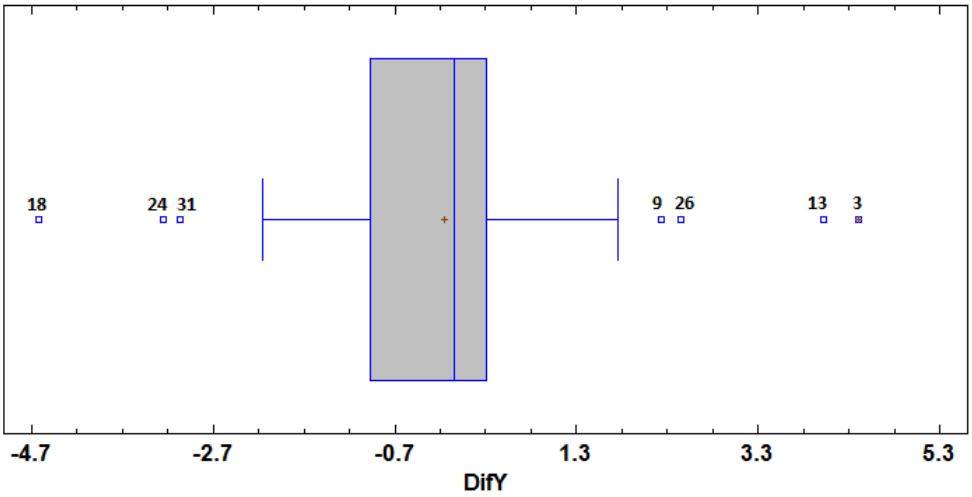



Figura 20.3

Se observan gráficamente los errores groseros que son los que se encuentras más alejados de la recta de regresión en la gráfica de Probabilidad Normal como así también los que se asemejan a estar libres de errores todos los puntos mas cercanos a la recta. También lo demuestra en los puntos groseros como out-layers en la gráfica Box-Plot.

## Detección y eliminación de errores groseros (Según criterio de Chauvenet)

Consiste en eliminar las observaciones DifX; DifY cuyos errores aparentes Vi ( (siendo Vi = Diferencia de puntos – Media) tengan una probabilidad inferior a (1 – 1 / 2n), cuyo error se obtiene de la siguiente manera:

$$VXi = DifXi - \bar{X} \qquad VYi = DifYi - \bar{Y}$$

Siendo:

$\bar{X}$ : Media en X $\qquad$ $\bar{Y}$ : Media en Y

Los resultados obtenidos (expresados en metros) fueron los siguientes:

| Punto | Xc | Yc | Xt | Yt | DifX | DifY | VXi = DifXi - X | VYi = DifYi - Y |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1** | 6505309.46 | 2540374.54 | 6505309.56 | 2540374.60 | -0.10 | -0.06 | **0.06** | **-0.06** |
| **2** | 6504677.25 | 2544677.24 | 6504677.27 | 2544677.31 | -0.02 | -0.07 | **0.07** | **-0.07** |
| **3** | 6504856.97 | 2541621.79 | 6504857.85 | 2541617.38 | -0.88 | 4.41 | **-4.41** | **4.41** |
| **4** | 6504039.30 | 2539956.19 | 6504041.26 | 2539956.98 | -1.96 | -0.79 | **0.79** | **-0.79** |
| **5** | 6504677.12 | 2543562.88 | 6504677.14 | 2543562.71 | -0.02 | 0.17 | **-0.17** | **0.17** |
| **6** | 6503524.91 | 2537395.81 | 6503525.89 | 2537395.51 | -0.98 | 0.30 | **-0.30** | **0.30** |
| **7** | 6502843.02 | 2539250.61 | 6502840.27 | 2539251.63 | 2.75 | -1.02 | **1.02** | **-1.02** |
| **8** | 6502551.50 | 2541403.42 | 6502551.58 | 2541403.40 | -0.08 | 0.02 | **-0.02** | **0.02** |
| **9** | 6502692.42 | 2543620.85 | 6502691.92 | 2543618.61 | 0.50 | 2.24 | **-2.24** | **2.24** |
| **10** | 6502190.84 | 2534935.63 | 6502190.09 | 2534937.53 | 0.75 | -1.90 | **1.90** | **-1.90** |
| **11** | 6502141.94 | 2536716.46 | 6502147.84 | 2536717.78 | -5.90 | -1.32 | **1.32** | **-1.32** |
| **12** | 6501970.61 | 2537249.37 | 6501970.97 | 2537248.43 | -0.36 | 0.94 | **-0.94** | **0.94** |
| **13** | 6502491.16 | 2544196.39 | 6502494.73 | 2544192.37 | -3.57 | 4.02 | **-4.02** | **4.02** |
| **14** | 6501253.47 | 2539496.04 | 6501256.36 | 2539496.78 | -2.89 | -0.74 | **0.74** | **-0.74** |
| **15** | 6501240.59 | 2542334.50 | 6501241.54 | 2542334.79 | -0.95 | -0.29 | **0.29** | **-0.29** |
| **16** | 6501811.09 | 2537740.95 | 6501811.20 | 2537740.90 | -0.11 | 0.05 | **-0.05** | **0.05** |
| **17** | 6500843.03 | 2535497.91 | 6500843.16 | 2535497.43 | -0.13 | 0.48 | **-0.48** | **0.48** |
| **18** | 6500822.69 | 2538650.69 | 6500818.82 | 2538655.31 | 3.87 | -4.62 | **4.62** | **-4.62** |
| **19** | 6499576.14 | 2536484.17 | 6499577.28 | 2536486.21 | -1.14 | -2.04 | **2.04** | **-2.04** |
| **20** | 6499903.28 | 2537527.11 | 6499903.35 | 2537527.12 | -0.07 | -0.01 | **0.01** | **-0.01** |
| **21** | 6499900.47 | 2539009.04 | 6499901.76 | 2539009.65 | -1.29 | -0.61 | **0.61** | **-0.61** |
| **22** | 6498979.85 | 2536165.35 | 6498980.07 | 2536166.64 | -0.22 | -1.29 | **1.29** | **-1.29** |
| **23** | 6498833.96 | 2536743.04 | 6498834.44 | 2536743.22 | -0.48 | -0.18 | **0.18** | **-0.18** |
| **24** | 6498721.94 | 2538455.85 | 6498717.06 | 2538459.10 | 4.88 | -3.25 | **3.25** | **-3.25** |
| **25** | 6499252.81 | 2541373.06 | 6499252.90 | 2541372.91 | -0.09 | 0.15 | **-0.15** | **0.15** |
| **26** | 6499390.11 | 2543076.30 | 6499388.19 | 2543073.85 | 1.92 | 2.45 | **-2.45** | **2.45** |
| **27** | 6498830.35 | 2542857.81 | 6498830.10 | 2542858.78 | 0.25 | -0.97 | **0.97** | **-0.97** |
| **28** | 6497777.47 | 2536879.79 | 6497781.27 | 2536878.03 | -3.80 | 1.76 | **-1.76** | **1.76** |
| **29** | 6498294.46 | 2539792.75 | 6498294.43 | 2539792.27 | 0.03 | 0.48 | **-0.48** | **0.48** |
| **30** | 6497602.57 | 2539995.76 | 6497602.52 | 2539995.78 | 0.05 | -0.02 | **0.02** | **-0.02** |
| **31** | 6497277.53 | 2541009.23 | 6497277.39 | 2541012.29 | 0.14 | -3.06 | **3.06** | **-3.06** |
| **32** | 6497096.82 | 2541625.07 | 6497097.35 | 2541625.94 | -0.53 | -0.87 | **0.87** | **-0.87** |
| **33** | 6499652.27 | 2544396.11 | 6499652.53 | 2544396.40 | -0.26 | -0.29 | **0.29** | **-0.29** |
| **34** | 6500833.17 | 2544962.27 | 6500832.99 | 2544962.21 | 0.18 | 0.06 | **-0.06** | **0.06** |
| **35** | 6500278.04 | 2545250.36 | 6500277.72 | 2545250.11 | 0.32 | 0.25 | **-0.25** | **0.25** |
| **36** | 6498111.06 | 2545412.26 | 6498111.24 | 2545410.58 | -0.18 | 1.68 | **-1.68** | **1.68** |
| **37** | 6498150.85 | 2545237.55 | 6498146.48 | 2545239.70 | 4.37 | -2.15 | **2.15** | **-2.15** |
| **38** | 6497132.59 | 2543312.05 | 6497132.59 | 2543312.07 | 0.00 | -0.02 | **0.02** | **-0.02** |

$$P_{-\varepsilon\min(CH)}^{+\varepsilon\max(CH)} = 1 - \frac{1}{2\,.n} = 1 - \frac{1}{2\,.38} = 0{,}9868$$

Siendo P la probabilidad de que se acepten los puntos dentro de la distribución normal a contrastar.

Para la probabilidad obtenida (considerando $\varepsilon_{max} \cong 3\sigma$ ) tenemos:

| ε | $P_{-a}^{+a}$ | ε | $P_{-a}^{+a}$ | ε | $P_{-a}^{+a}$ | ε | $P_{-a}^{+a}$ | ε | $P_{-a}^{+a}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.0 σ | 0.00 | 0.7σ | 0.516 | 1.5σ | 0.866 | 2.3σ | 0.978 | 3.1σ | 0.998 |
| 0.1σ | 0.080 | 0.8σ | 0.576 | 1.6σ | 0.890 | 2.4σ | 0.984 | 3.2σ | 0.999 |
| 0.2σ | 0.158 | 0.9σ | 0.632 | 1.7σ | 0.911 | 2.5σ | 0.988 | 3.4σ | 0.9993 |
| 0.3σ | 0.236 | **σ** | **0.683** | 1.8σ | 0.928 | 2.6σ | 0.991 | **4σ** | **0.9999** |
| 0.4σ | 0.311 | 1.1σ | 0.729 | 1.9σ | 0.943 | 2.7σ | 0.993 | **∞** | **1** |
| 0.5σ | 0.383 | 1.2σ | 0.770 | **2σ** | **0.954** | 2.8σ | 0.995 | | |
| 0.6σ | 0.452 | 1.3σ | 0.806 | 2.1σ | 0.964 | 2.9σ | 0.996 | | |
| 0.675σ | 0.500 | 1.4σ | 0.838 | 2.2σ | 0.972 | **3σ** | 0.997 | | |

Para detectar el o los valores que estén por fuera de los límites, previamente se ordena la muestra de menor a mayor según su $V_i$

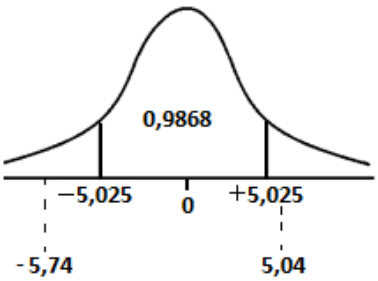
Error admisible para la muestra $\varepsilon^{\pm}\max = 2{,}5 \times \sigma = \pm\ 5{,}025$ m

$\text{Límite Máximo} = \overline{X} - Z_C\,.\,\overline{S_X}$ = 5,04 m

$\text{Límite Minimo} = \overline{X} + Z_C\,.\,\overline{S_X}$ - 5,74

Se detecta el punto 11 como error grosero

Entonces:




$VX_i$ 11 **>** $\varepsilon_{max}$ por lo tanto: -5,739 m **>** 5,025 m

Figura 20.4

Durante el desarrollo de este proceso, se eliminarán aquellos valores que queden por fuera de los límites establecidos según la muestra con la que se esté realizando el cálculo, el mismo, es un proceso iterativo que finaliza cuando se tiene una precisión admisible para el trabajo a realizar.

Se tendrá en cuenta como valor de referencia $\varepsilon_{\max} = +2{,}00$ m que este será el marco de comparación de datos en la carta (por el error máximo gráfico).

---

Marco de comparación ± 2,00 m

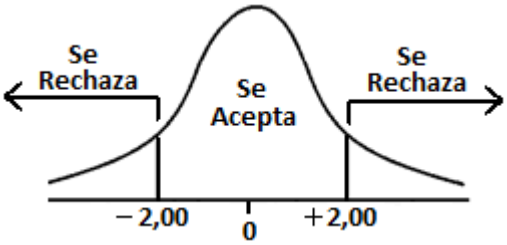



Figura 20.5

**En resumen:**

| ELIMINACIÓN DE ERRORES GROSEROS - CHAUVENET | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Variable X** | | | | | |
| Número Iteración | Número de Muestra | Error Maximo ($\varepsilon_{max}$ +/-) | Límite Máximo | Límite Mínimo | **Punto Eliminado** |
| 0 | 38 | 5.03 | 5.04 | -5.74 | **11** |
| 1 | 37 | 4.48 | 4.80 | -3.80 | **24** |
| 2 | 36 | 4.12 | 4.51 | -3.66 | **37** |
| 3 | 35 | 3.60 | 4.14 | -3.50 | **18** |
| 4 | 34 | 3.05 | 3.14 | -3.41 | **7 y 21** |
| 5 | 32 | 2.42 | 2.30 | -3.19 | **13** |
| 6 | 31 | 2.02 | 2.20 | -2.61 | **14 y 26** |
| 7 | 29 | 1.39 | 1.01 | -1.70 | **Ninguno** |

**Conclusión: La muestra queda libre de errores groseros en la variable X**

Con respecto a los errores aparentes en la variable Y, se realiza el mismo análisis de detección y eliminación de errores groseros utilizando el criterio de Chauventet.

Muestra Inicial de 29 puntos

| Punto | Xc | Yc | Xt | Yt | DifX | DifY | VXi = DifXi - X | VYi = DifYi - Y |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1** | 6505309.46 | 2540374.54 | 6505309.56 | 2540374.60 | -0.10 | -0.06 | 0.16 | **-0.02** |
| **2** | 6504677.25 | 2544677.24 | 6504677.27 | 2544677.31 | -0.02 | -0.07 | 0.24 | **-0.03** |
| **3** | 6504856.97 | 2541621.79 | 6504857.85 | 2541617.38 | -0.88 | 4.41 | -0.62 | **4.45** |
| **4** | 6504039.30 | 2539956.19 | 6504041.26 | 2539956.98 | -1.96 | -0.79 | -1.70 | **-0.75** |
| **5** | 6504677.12 | 2543562.88 | 6504677.14 | 2543562.71 | -0.02 | 0.17 | 0.24 | **0.21** |
| **6** | 6503524.91 | 2537395.81 | 6503525.89 | 2537395.51 | -0.98 | 0.30 | -0.72 | **0.34** |
| **8** | 6502551.50 | 2541403.42 | 6502551.58 | 2541403.40 | -0.08 | 0.02 | 0.18 | **0.06** |
| **9** | 6502692.42 | 2543620.85 | 6502691.92 | 2543618.61 | 0.50 | 2.24 | 0.76 | **2.28** |
| **10** | 6502190.84 | 2534935.63 | 6502190.09 | 2534937.53 | 0.75 | -1.90 | 1.01 | **-1.86** |
| **12** | 6501970.61 | 2537249.37 | 6501970.97 | 2537248.43 | -0.36 | 0.94 | -0.10 | **0.98** |
| **15** | 6501240.59 | 2542334.50 | 6501241.54 | 2542334.79 | -0.95 | -0.29 | -0.69 | **-0.25** |
| **16** | 6501811.09 | 2537740.95 | 6501811.20 | 2537740.90 | -0.11 | 0.05 | 0.15 | **0.09** |
| **17** | 6500843.03 | 2535497.91 | 6500843.16 | 2535497.43 | -0.13 | 0.48 | 0.13 | **0.52** |
| **19** | 6499576.14 | 2536484.17 | 6499577.28 | 2536486.21 | -1.14 | -2.04 | -0.88 | **-2.00** |
| **20** | 6499903.28 | 2537527.11 | 6499903.35 | 2537527.12 | -0.07 | -0.01 | 0.19 | **0.03** |
| **21** | 6499900.47 | 2539009.04 | 6499901.76 | 2539009.65 | -1.29 | -0.61 | -1.03 | **-0.57** |
| **22** | 6498979.85 | 2536165.35 | 6498980.07 | 2536166.64 | -0.22 | -1.29 | 0.04 | **-1.25** |
| **23** | 6498833.96 | 2536743.04 | 6498834.44 | 2536743.22 | -0.48 | -0.18 | -0.22 | **-0.14** |
| **25** | 6499252.81 | 2541373.06 | 6499252.90 | 2541372.91 | -0.09 | 0.15 | 0.17 | **0.19** |
| **27** | 6498830.35 | 2542857.81 | 6498830.10 | 2542858.78 | 0.25 | -0.97 | 0.51 | **-0.93** |
| **29** | 6498294.46 | 2539792.75 | 6498294.43 | 2539792.27 | 0.03 | 0.48 | 0.29 | **0.52** |
| **30** | 6497602.57 | 2539995.76 | 6497602.52 | 2539995.78 | 0.05 | -0.02 | 0.31 | **0.02** |
| **31** | 6497277.53 | 2541009.23 | 6497277.39 | 2541012.29 | 0.14 | -3.06 | 0.40 | **-3.02** |
| **32** | 6497096.82 | 2541625.07 | 6497097.35 | 2541625.94 | -0.53 | -0.87 | -0.27 | **-0.83** |
| **33** | 6499652.27 | 2544396.11 | 6499652.53 | 2544396.40 | -0.26 | -0.29 | 0.00 | **-0.25** |
| **34** | 6500833.17 | 2544962.27 | 6500832.99 | 2544962.21 | 0.18 | 0.06 | 0.44 | **0.10** |
| **35** | 6500278.04 | 2545250.36 | 6500277.72 | 2545250.11 | 0.32 | 0.25 | 0.58 | **0.29** |
| **36** | 6498111.06 | 2545412.26 | 6498111.24 | 2545410.58 | -0.18 | 1.68 | 0.08 | **1.72** |
| **38** | 6497132.59 | 2543312.05 | 6497132.59 | 2543312.07 | 0.00 | -0.02 | 0.26 | **0.02** |

**Iteración Nº 1**

Tamaño de Muestra: n = 29

Máximo = 4,1 m

Mínimo = - 2,04 m

Media: $\bar{X}$ = - 0,003 m

Desviación Estándar: $S_Y$ = 1,34 m

$$P_{-\varepsilon\min(CH)}^{+\varepsilon\max(CH)} = 1 - \frac{1}{2.n} = 1 - \frac{1}{2.29} = 0{,}983$$

$$\varepsilon_{-}^{+}\max = 2{,}4 \times \sigma = \pm\ 3{,}22 \text{ m}$$

$$\text{Límite Máximo} = \bar{X} - Z_C \,.\, \overline{S_X} = 4{,}45 \text{ m}$$

$$\text{Límite Minimo} = \bar{X} + Z_C \,.\, \overline{S_X} \ - 3{,}02 \text{ m}$$

Se detecta el punto 3 como error grosero.

Entonces:

$VY_i$ 3 **>** $\varepsilon_{max}$ por lo tanto: 4,45 m **>** 3,22 m

| $\varepsilon$ | $P_{-a}^{+a}$ |
|---|---|
| 2.3σ | 0.978 |
| 2.4σ | 0.984 |
| 2.5σ | 0.988 |

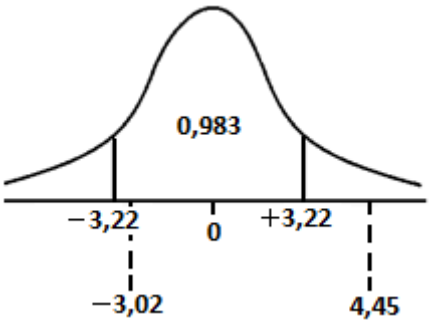



Figura 20.6

**En resumen:**

| ELIMINACIÓN DE ERRORES GROSEROS - CHAUVENET | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Variable Y** | | | | | |
| Número Iteración | Número de Muestra | Error Máximo ($\varepsilon_{max}$ +/-) | Límite Máximo | Límite Mínimo | Punto Eliminado |
| 0 | 29 | 3.22 | 4.45 | -3.02 | **3** |
| 1 | 28 | 2.52 | 2.44 | -2.86 | **31** |
| 2 | 27 | 2.14 | 2.34 | -1.94 | **9** |
| 3 | 26 | 1.82 | 1.87 | -1.85 | **19 y 36** |

**Nota:** En la última iteración de la variable DifY, con el criterio de Chauvenet se eliminarían los puntos 19 y 36, pero como el valor del error máximo no supera los 2 metros que es la precisión requerida por este trabajo, se decidió no eliminar los mismos, quedando la muestra formada por un total de 26 puntos.

| Punto | Xc | Yc | Xt | Yt | DifX | DifY | VXi = DifXi - X | VYi = DifYi - Y |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **1** | 6505309.46 | 2540374.54 | 6505309.56 | 2540374.60 | -0.10 | -0.06 | 0.16 | 0.13 |
| **2** | 6504677.25 | 2544677.24 | 6504677.27 | 2544677.31 | -0.02 | -0.07 | 0.24 | 0.12 |
| **4** | 6504039.30 | 2539956.19 | 6504041.26 | 2539956.98 | -1.96 | -0.79 | -1.70 | -0.60 |
| **5** | 6504677.12 | 2543562.88 | 6504677.14 | 2543562.71 | -0.02 | 0.17 | 0.24 | 0.36 |
| **6** | 6503524.91 | 2537395.81 | 6503525.89 | 2537395.51 | -0.98 | 0.30 | -0.72 | 0.49 |
| **8** | 6502551.50 | 2541403.42 | 6502551.58 | 2541403.40 | -0.08 | 0.02 | 0.18 | 0.21 |
| **10** | 6502190.84 | 2534935.63 | 6502190.09 | 2534937.53 | 0.75 | -1.90 | 1.01 | -1.71 |
| **12** | 6501970.61 | 2537249.37 | 6501970.97 | 2537248.43 | -0.36 | 0.94 | -0.10 | 1.13 |
| **15** | 6501240.59 | 2542334.50 | 6501241.54 | 2542334.79 | -0.95 | -0.29 | -0.69 | -0.10 |
| **16** | 6501811.09 | 2537740.95 | 6501811.20 | 2537740.90 | -0.11 | 0.05 | 0.15 | 0.24 |
| **17** | 6500843.03 | 2535497.91 | 6500843.16 | 2535497.43 | -0.13 | 0.48 | 0.13 | 0.67 |
| **19** | 6499576.14 | 2536484.17 | 6499577.28 | 2536486.21 | -1.14 | -2.04 | -0.88 | -1.85 |
| **20** | 6499903.28 | 2537527.11 | 6499903.35 | 2537527.12 | -0.07 | -0.01 | 0.19 | 0.18 |
| **21** | 6499900.47 | 2539009.04 | 6499901.76 | 2539009.65 | -1.29 | -0.61 | -1.03 | -0.42 |
| **22** | 6498979.85 | 2536165.35 | 6498980.07 | 2536166.64 | -0.22 | -1.29 | 0.04 | -1.10 |

| | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **23** | 6498833.96 | 2536743.04 | 6498834.44 | 2536743.22 | -0.48 | -0.18 | -0.22 | 0.01 |
| **25** | 6499252.81 | 2541373.06 | 6499252.90 | 2541372.91 | -0.09 | 0.15 | 0.17 | 0.34 |
| **27** | 6498830.35 | 2542857.81 | 6498830.10 | 2542858.78 | 0.25 | -0.97 | 0.51 | -0.78 |
| **29** | 6498294.46 | 2539792.75 | 6498294.43 | 2539792.27 | 0.03 | 0.48 | 0.29 | 0.67 |
| **30** | 6497602.57 | 2539995.76 | 6497602.52 | 2539995.78 | 0.05 | -0.02 | 0.31 | 0.17 |
| **32** | 6497096.82 | 2541625.07 | 6497097.35 | 2541625.94 | -0.53 | -0.87 | -0.27 | -0.68 |
| **33** | 6499652.27 | 2544396.11 | 6499652.53 | 2544396.40 | -0.26 | -0.29 | 0.00 | -0.10 |
| **34** | 6500833.17 | 2544962.27 | 6500832.99 | 2544962.21 | 0.18 | 0.06 | 0.44 | 0.25 |
| **35** | 6500278.04 | 2545250.36 | 6500277.72 | 2545250.11 | 0.32 | 0.25 | 0.58 | 0.44 |
| **36** | 6498111.06 | 2545412.26 | 6498111.24 | 2545410.58 | -0.18 | 1.68 | 0.08 | 1.87 |
| **38** | 6497132.59 | 2543312.05 | 6497132.59 | 2543312.07 | 0.00 | -0.02 | 0.26 | 0.17 |

## **Detección y Corrección de Errores Sistemáticos**.

Se efectúa para cada componente del test de cumplimiento del estándar para determinar si el error sistemático es aceptable. Para ello se fija un test sobre la media muestral ( $\mu_0$ ) bajo el supuesto de varianza poblacional ($\sigma^2$ ) desconocida, conociendo la desviación muestral ($S_X$ , $S_Y$ ) y estableciendo la hipótesis entre las mediciones para las variables DifX, DifY.

Hipótesis de trabajo (Hipótesis Nula):

$$H_0\text{: Acepto} \qquad H_1\text{: Rechazo}$$

$$H_0\text{: } \mu_0 = 0 \qquad H_1\text{: } \mu_0 \neq 0$$

| **Para Dif X** | **Para Dif Y** |
|---|---|
| t-student de cálculo: $t_X = \frac{\overline{X} * \sqrt{n}}{\overline{S_X}}$ <br> $t_X$ = - 0,216 | t-student de cálculo: $t_Y = \frac{\overline{Y} * \sqrt{n}}{\overline{S_Y}}$ <br> $t_Y$ = 0,155 |
| t-student de tabla: $t_{\alpha\, n-1,\alpha/2} = 1{,}7081$ | t-student de tabla: $t_{\alpha\, n-1,\alpha/2} = 1{,}7081$ |
| Nivel de Significación: $\alpha$ = 95 % | |
| $\lvert t_X \rvert \leq t_{\alpha\, n-1,\alpha/2}$ | $\lvert t_Y \rvert \leq t_{\alpha\, n-1,\alpha/2}$ |

La carta superará el test (t-student para muestras menores a 30 puntos) con un nivel de significación $\alpha$ si se cumple que:

$$\lvert \mathbf{t_X} \rvert \leq \mathbf{t_{\alpha\, n-1,\alpha/2}} \qquad \lvert \mathbf{t_Y} \rvert \leq \mathbf{t_{\alpha\, n-1,\alpha/2}}$$

**∴ La carta supera el test**

Se acepta el test de hipótesis nula $H_0: \mu_0 = 0$ , es decir que la muestra responde a una distribución $\mu \cong 0$, lo que significa que la población distribuye normal dentro de un intervalo de confianza del 95%. Luego la muestra representativa **no tiene errores sistemáticos**.

## Test de adherencia de Kolgomorov-Smirnov

Para un intervalo de confianza del 95% aplicando este estadístico se obtienen los siguientes datos:

**Condición:**

**Acepto**: **K-S < 95%** de significación

**Rechazo**: **K-S > 95%** de significación

**Variable DifX**

K-S = **0,209 <** 95% = **0,259**

**Variable DifY**

K-S = **0,179** 95% = **0,259**

Se observa que tanto el test estadístico de la T-Student como el de Kolmogorov-Smirnov, acepta la hipótesis nula, diciéndonos que la distribución de los errores se ajusta a una distribución normal N (0,1), por lo tanto se interpreta que no existe sistematismo en la muestra de 26 puntos de estudio.

**La distribución es la siguiente:**

**Variable DifX**

**Gráfico de Distribución Normal**

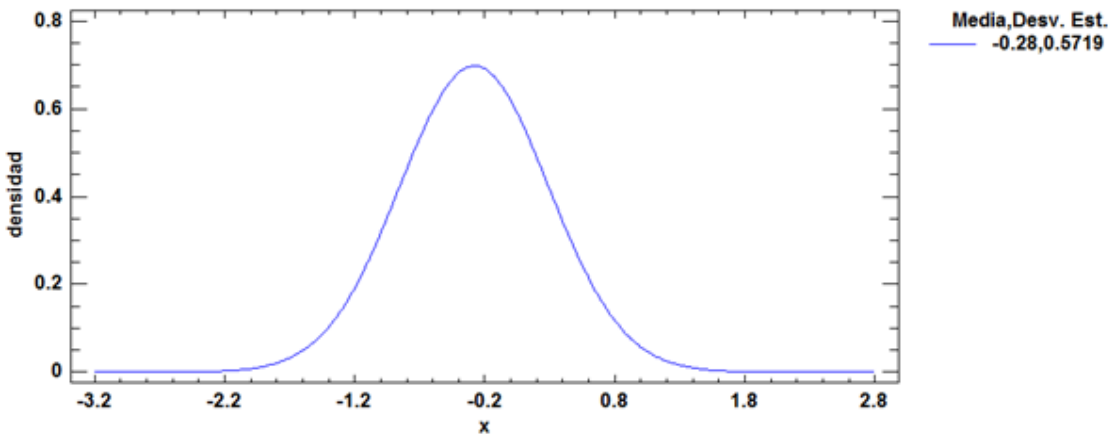



Figura 20.7

**Variable DifY**

**Gráfico de Distribución Normal**

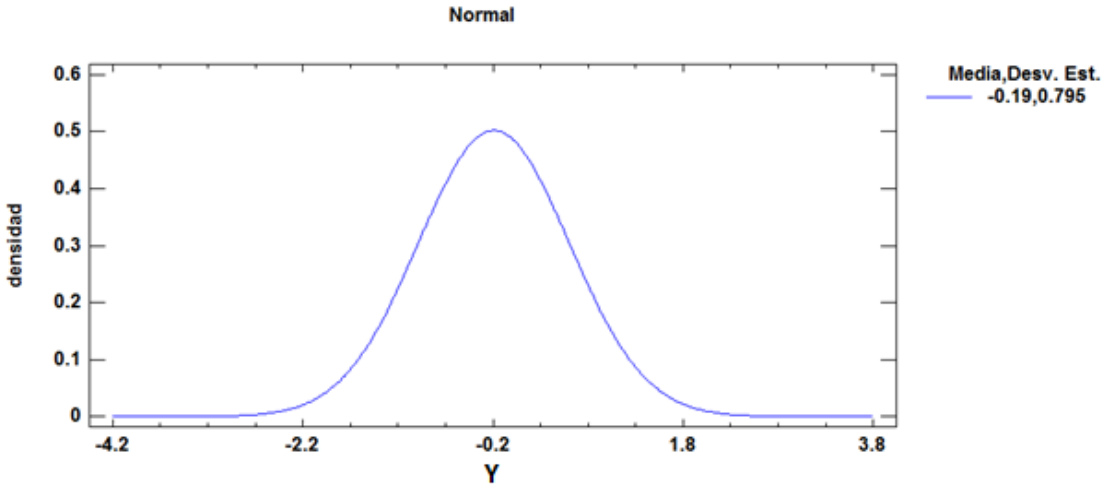



Figura 20.8

**Gráfica de Vectores errores**

Una vez que los métodos de detección de errores groseros y sistémicos nos demuestran que la distribución de puntos no tiene sistematismo, se procede a visualizar gráficamente con los vectores errores determinando su módulo y rumbo para determinar en forma clara su asistematismo.

**ρ**: Módulo del vector error (radial) $\sqrt{(\mathrm{dif\,x_{corr}})^2 + \mathrm{dify_{corr}})^2}$

***θ***: Rumbo del error $\mathrm{Arctg}\left(\frac{\mathrm{Dif\,X}}{Dif\ Y}\right)$

| DifX | DifY | Vector | Rumbo (radianes) |
|---|---|---|---|
| -0.1 | -0.06 | 0.12 m | 1.03 |
| -0.02 | -0.07 | 0.07 m | 0.28 |
| -1.96 | -0.79 | 2.11 m | 1.19 |
| -0.02 | 0.17 | 0.17 m | -0.12 |
| -0.98 | 0.30 | 1.02 m | -1.27 |
| -0.08 | 0.02 | 0.08 m | -1.33 |
| 0.75 | -1.9 | 2.04 m | -0.38 |
| -0.36 | 0.94 | 1.01 m | -0.37 |
| -0.95 | -0.29 | 0.99 m | 1.27 |
| -0.11 | 0.05 | 0.12 m | -1.14 |
| -0.13 | 0.48 | 0.50 m | -0.26 |
| -1.14 | -2.04 | 2.34 m | 0.51 |
| -0.07 | -0.01 | 0.07 m | 1.43 |
| -1.29 | -0.61 | 1.43 m | 1.13 |

| | | | |
|---|---|---|---|
| -0.22 | -1.29 | 1.31 m | 0.17 |
| -0.48 | -0.18 | 0.51 m | 1.21 |
| -0.09 | 0.15 | 0.17 m | -0.54 |
| 0.25 | -0.97 | 1.00 m | -0.25 |
| 0.03 | 0.48 | 0.48 m | 0.06 |
| 0.05 | -0.02 | 0.05 m | -1.19 |
| -0.53 | -0.87 | 1.02 m | 0.55 |
| -0.26 | -0.29 | 0.39 m | 0.73 |
| 0.18 | 0.06 | 0.19 m | 1.25 |
| 0.32 | 0.25 | 0.41 m | 0.91 |
| -0.18 | 1.68 | 1.69 m | -0.11 |
| 0.00 | -0.02 | 0.02 m | 0.00 |

## Gráfica de Sistematisismo

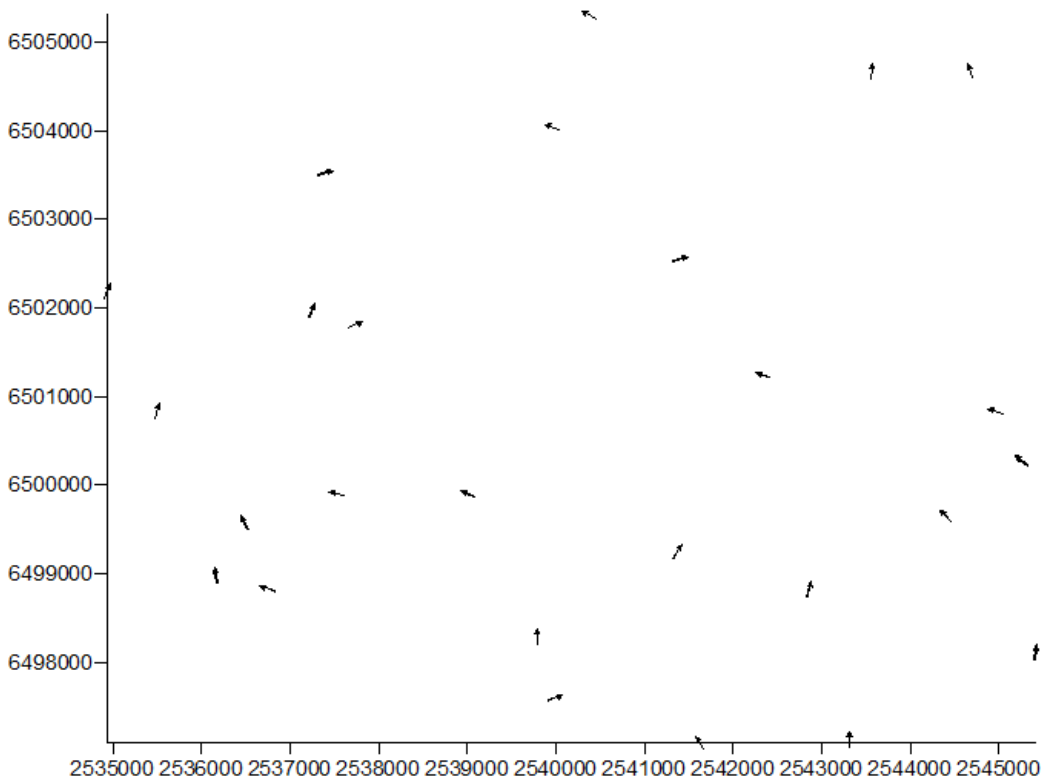



Figura 20.9

La dirección de los vectores **ρ** muestran una clara aleatoriedad en su distribución y sin sistematismo, Confirmando de esta manera de que analíticamente se haya concluido en esto.

## Aplicación de test Chi-cuadrado ( Chi $^2$ ) para errores aleatorios

Se determina si el error aleatorio se encuentra entre límites aceptables, a través de un test sobre la varianza, estableciendo las siguientes hipótesis en relación a un máximo de varianza ${\sigma_0}^2$ preestablecido y concretado sobre cada componente ${\sigma_{0x}}^2$, ${\sigma_{0y}}^2$

Desviación Estándar: $S_X = 0{,}572$ $S_Y = 0{,}795$

Varianza: $\sigma_X{}^2 = 0{,}327$ $\sigma_Y{}^2 = 0{,}633$

Se supera el test (Chi $^2$) con un nivel de significación del 95% si se cumple que:

$$\chi_x{}^2 < \sigma_0 \qquad \chi_y{}^2 < \sigma_0$$

Donde:

$$\chi_x{}^2 = \frac{\breve{S}_x{}^2 * (n-1)}{\sigma_0{}^2} = 2{,}04 \text{ m} \qquad \chi_y{}^2 = \frac{\breve{S}_y{}^2 * (n-1)}{\sigma_0{}^2} = 3{,}95 \text{ m}$$

**Se supone un $\sigma_0$ preestablecido de 2,00 m** (que es el valor esperable de la calidad que tiene la carta) Entonces:

**Conclusión:**

$\sigma_0 = 2{,}00\, m \quad < \quad \chi_X{}^2 = 2{,}04$

$\sigma_0 = 2{,}00\, m \quad < \quad \chi_Y{}^2 = 3{,}95$

**∴ No supera en test Chi $^2$**

Al no pasar el test, la calidad posicional del dato no está dentro de los parámetros previamente esperables.

Entonces:

$$\chi_x{}^2 = \frac{0{,}572^{\,2} * (26-1)}{2{,}60^{\,2}} = 2{,}21 \text{ m} \qquad \chi_y{}^2 = \frac{0{,}795^{\,2} * (26-1)}{2{,}60^{\,2}} = 2{,}34 \text{ m}$$

Se incrementa el valor de $\sigma_0$ de forma creciente a un $\sigma_0 = 2{,}60$ m, hasta que el test acepte la hipótesis nula.

**Conclusión:**

Se compara el resultado del test de hipótesis para cada variable con el nuevo valor de calidad que posee la carta $\sigma_0$ = 2,60 m

$$\left.\begin{array}{l} \sigma_0 = 2{,}60 \text{ m} \quad > \quad \chi_X{}^2 = 1{,}21 \text{ m} \\ \\ \sigma_0 = 2{,}60 \text{ m} \quad > \quad \chi_Y{}^2 = 2{,}34 \text{ m} \end{array}\right\} \text{ ∴ Supera en test Chi } ^2$$

Se acepta el test de hipótesis nula, entonces el valor aleatorio está entre los límites aceptables. Por lo tanto se considera que en la muestra de 26 puntos no existen errores aleatorios al nivel previsto de $\sigma_0 = 2{,}60\ \mathrm{m}$.

**Saneada la muestra respecto de los errores groseros, sistemáticos y aleatorios se establece que la precisión de la carta (en planimetría) es de 2,60 m al 95% de nivel de confianza.**

**Nota:**
El procedimiento explicado anteriormente se ajusta al proceso de EMAS el cual es extremadamente restrictivo en cuanto a la eliminación de datos y conclusiones que se pueden obtener al momento de calificar una cartografía.

## Método NSSDA (National Standard for Spatial Data Accuracy)

Al cumplirse, previemanete, las condiciones de aleatoriedad y normalidad se obtiene lo siguiente:

**Error de cada punto**: $\mathrm{DifX} = \mathrm{e_X} = \mathrm{X_C} - \mathrm{X_T}$ ; $\mathrm{DifY} = \mathrm{e_Y} = \mathrm{Y_C} - \mathrm{Y_T}$

**Error Medio Cuadrático**:

$$\mathrm{EMC}_X = \sqrt{\frac{\sum {e_X}^2}{n}} = 1{,}45\ \mathrm{m} \qquad \mathrm{EMC}_Y = \sqrt{\frac{\sum {e_Y}^2}{n}} = 0{,}95\ \mathrm{m}$$

**Valor $\mathrm{NSSDA_H}$ (Horizontal)**

Como se cumple: $\mathrm{EMC}_X \neq \mathrm{EMC}_Y$ y que: $0{,}6 < \frac{\mathrm{EMC}_{min}}{\mathrm{EMC}_{max}} < 1{,}0$

Entonces:

$$\mathrm{NSSDA_H} = 1{,}22385 * (EMC_X + EMC_Y) = 2{,}93\ \mathrm{m}$$

## Conclusión:

- Se verifica que existe una independencia entre las coordenadas X e Y, y que la exactitud horizontal es de 2,93 m al 95% de nivel de confianza.

- Esto significa que un usuario de un conjunto de datos puede estar seguro de que la posición horizontal de un objeto bien definido estará dentro de 2,93 metros de su verdadera ubicación, en el 95% de las veces.

- Se debe destacar que el estándar internacional NSSDA fija un error planimétrico de 2,93 m y se obtiene un error menor de 2,60 m fijado por EMAS.
  Por este motivo se puede afirmar que la carta pasa el estándar internacional utilizado en la actualidad.

- A continuación se puede interpretar que en la tabla DifX, DifY ningún valor supera el establecido por el NSSDA, esto permite asegurar que la desviación muestral se encuentra dentro de la exactitud horizontal propuesta por este estándar internacional.

| Punto | Xc | Yc | Xt | Yt | DifX | DifY |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 6505309.46 | 2540374.54 | 6505309.56 | 2540374.60 | -0.10 | -0.06 |
| 2 | 6504677.25 | 2544677.24 | 6504677.27 | 2544677.31 | -0.02 | -0.07 |
| 4 | 6504039.30 | 2539956.19 | 6504041.26 | 2539956.98 | -1.96 | -0.79 |
| 5 | 6504677.12 | 2543562.88 | 6504677.14 | 2543562.71 | -0.02 | 0.17 |
| 6 | 6503524.91 | 2537395.81 | 6503525.89 | 2537395.51 | -0.98 | 0.30 |
| 8 | 6502551.50 | 2541403.42 | 6502551.58 | 2541403.40 | -0.08 | 0.02 |
| 10 | 6502190.84 | 2534935.63 | 6502190.09 | 2534937.53 | 0.75 | -1.90 |
| 12 | 6501970.61 | 2537249.37 | 6501970.97 | 2537248.43 | -0.36 | 0.94 |
| 15 | 6501240.59 | 2542334.50 | 6501241.54 | 2542334.79 | -0.95 | -0.29 |
| 16 | 6501811.09 | 2537740.95 | 6501811.20 | 2537740.90 | -0.11 | 0.05 |
| 17 | 6500843.03 | 2535497.91 | 6500843.16 | 2535497.43 | -0.13 | 0.48 |
| 19 | 6499576.14 | 2536484.17 | 6499577.28 | 2536486.21 | -1.14 | -2.04 |
| 20 | 6499903.28 | 2537527.11 | 6499903.35 | 2537527.12 | -0.07 | -0.01 |
| 21 | 6499900.47 | 2539009.04 | 6499901.76 | 2539009.65 | -1.29 | -0.61 |
| 22 | 6498979.85 | 2536165.35 | 6498980.07 | 2536166.64 | -0.22 | -1.29 |
| 23 | 6498833.96 | 2536743.04 | 6498834.44 | 2536743.22 | -0.48 | -0.18 |
| 25 | 6499252.81 | 2541373.06 | 6499252.90 | 2541372.91 | -0.09 | 0.15 |
| 27 | 6498830.35 | 2542857.81 | 6498830.10 | 2542858.78 | 0.25 | -0.97 |
| 29 | 6498294.46 | 2539792.75 | 6498294.43 | 2539792.27 | 0.03 | 0.48 |
| 30 | 6497602.57 | 2539995.76 | 6497602.52 | 2539995.78 | 0.05 | -0.02 |
| 32 | 6497096.82 | 2541625.07 | 6497097.35 | 2541625.94 | -0.53 | -0.87 |
| 33 | 6499652.27 | 2544396.11 | 6499652.53 | 2544396.40 | -0.26 | -0.29 |
| 34 | 6500833.17 | 2544962.27 | 6500832.99 | 2544962.21 | 0.18 | 0.06 |
| 35 | 6500278.04 | 2545250.36 | 6500277.72 | 2545250.11 | 0.32 | 0.25 |
| 36 | 6498111.06 | 2545412.26 | 6498111.24 | 2545410.58 | -0.18 | 1.68 |
| 38 | 6497132.59 | 2543312.05 | 6497132.59 | 2543312.07 | 0.00 | -0.02 |

$$\mathbf{DifX} = \overline{\mathbf{X}} \pm \boldsymbol{\sigma} \qquad \mathbf{DifY} = \overline{\mathbf{Y}} \pm \boldsymbol{\sigma}$$

Siendo: $\mathbf{DifX} = -\mathbf{0,28\ m} \pm \mathbf{0,57\ m}$ $\qquad \mathbf{DifY} = -\mathbf{0,19\ m} \pm \mathbf{0,79\ m}$

## 20.2. Análisis Exploratorio de Datos Altimétricos

### Cálculo de la variable DifZ

Las diferencias de cotas (variable Z) entre los puntos medidos, con sus homólogos en la carta son las siguientes:

| Punto | Zt (Ortométrica) | Zc (Ortométrica) | DifZ |
|---|---|---|---|
| 1 | 653.83 m | 653.35 m | 0.47 m |
| 2 | 622.11 m | 624.40 m | -2.29 m |
| 3 | 644.35 m | 641.46 m | 2.87 m |
| 4 | 650.63 m | 649.87 m | 0.758 m |
| 5 | 630.76 m | 633.58 m | -2.82 m |
| 6 | 660.45 m | 660.92 m | -0.45 m |
| 7 | 647.58 m | 646.53 m | 1.05 m |
| 8 | 634.52 m | 634.37 m | 0.15 m |
| 9 | 644.93 m | 622.68 m | 22.25 m |
| 10 | 662.60 m | 662.96 m | -0.37 m |
| 11 | 655.60 m | 655.66 m | -0.07m |
| 12 | 651.52 m | 650.89 m | 0.63 m |
| 13 | 616.56 m | 616.02 m | 0.54 m |
| 14 | 636.10 m | 635.01 m | 1.09 m |
| 15 | 620.12 m | 620.27 m | -0.16 m |
| 16 | 648.96 m | 649.14 m | -0.18 m |
| 17 | 652.03 m | 651.78 m | 0.25 m |
| 18 | 636.01 m | 635.83 m | 0.18 m |
| 19 | 639.13 m | 638.66 m | 0.47 m |
| 20 | 635.20 m | 634.85 m | 0.35 m |
| 21 | 627.98 m | 627.09 m | 0.89 m |
| 22 | 636.11 m | 636.04 m | 0.07 m |
| 23 | 633.49 m | 633.95 m | -0.46 m |
| 24 | 623.37 m | 623.15 m | 0.22 m |
| 25 | 613.03 m | 612.93 m | 0.10 m |
| 26 | 605.36 m | 604.71 m | 0.65 m |
| 27 | 604.24 m | 604.41 m | -0.18 m |
| 28 | 625.42 m | 625.08 m | 0.34 m |
| 29 | 613.81 m | 612.96 m | 0.85 m |
| 30 | 610.14 m | 612.06 m | -1.92 m |
| 31 | 605.36 m | 604.70 m | 0.66 m |
| 32 | 601.16 m | 600.74 m | 0.42 m |
| 33 | 600.19 m | 600.14 m | 0.05 m |
| 34 | 603.10 m | 603.28 m | -0.18 m |
| 35 | 598.03 m | 598.35m | -0.32 m |
| 36 | 590.90 m | 591.12 m | -0.22 m |

| | | | |
|---|---|---|---|
| 37 | 592.023 m | 592.40 m | -0.38 m |
| 38 | 595.511 m | 594.97 m | 0.54 m |

Los 38 puntos obtenidos fueron ingresados en un software de tratamiento estadístico, del cual se pudo extraer la siguiente información:

**Variable Z**

Tamaño de Muestra: n = 38

Sumatoria en DifZ = 25,85 m

Max. DifZ = 22,25 m

Min. DifZ = -2,82 m

Media: $\bar{Z}$ = 0,199

Desviación Estándar: $S_Z$ = 3,715m

De los valores obtenidos a priori, se observa que si existen errores groseros, por lo que se utilizará el criterio de Chauvenet para la detección y eliminación de los mismos.

Gráficamente se tiene lo siguiente:

**Variable DifZ**

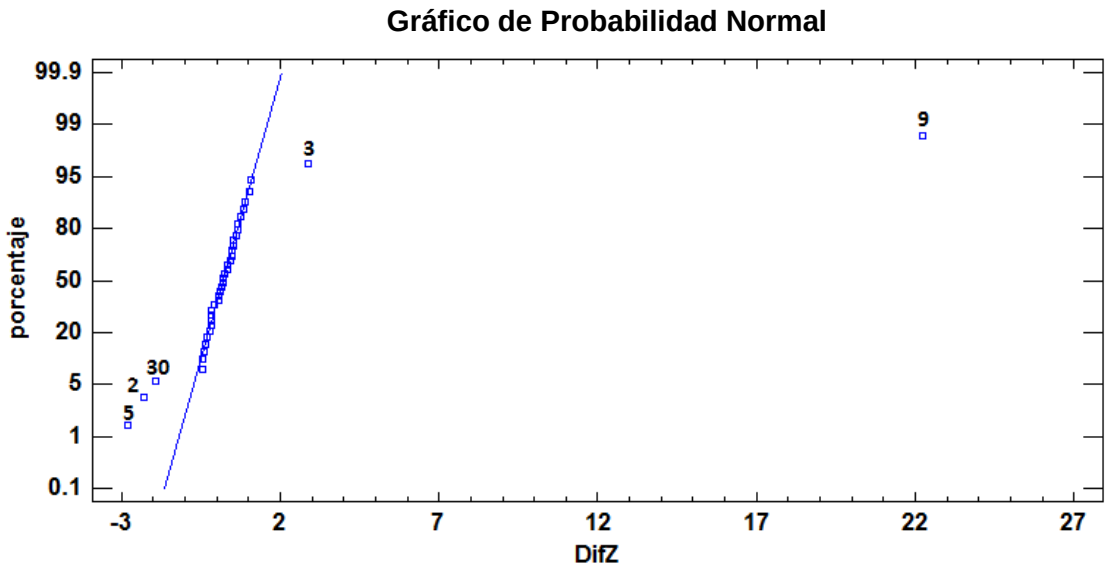



Figura 20.10

**Gráfico Box-Plot**

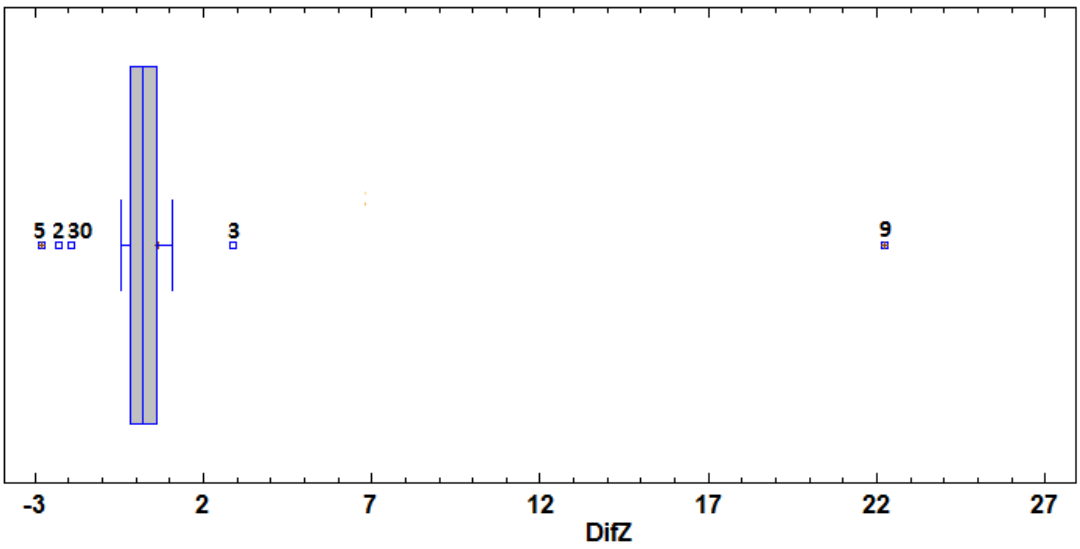



Figura 20.11

Se puede observar, que tanto en las gráficas de distribución Normal como en el de Box-Plot, que el punto Nº 9 presenta una gran desviación (DifZ muy elevado) de la distribución normal con respecto a la recta de regresión y a la caja respectivamente. Esto nos indica que se puede deber a un abanico de posibles errores como por ejemplo: Un error en el proceso de medición, un error en la transcripción de los datos, o que el MDE con el que se calcularon las cotas ortométricas presente errores en dicha zona en donde se encuentra el punto, entre otros.

Debido a que es solo es un punto el que presenta esta alteración, se puede inferir que el error se debe a una mala transcripción en uno de los procesos del tratamiento numérico. Dicho punto no afectará a la muestra en su totalidad, ya que será eliminado en cálculo de errores groseros.

Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Siendo:

$$\bar{Z} : Media\ en\ Z$$

| Punto | Zt (Ortométrica) | Zc | DifZ | Vzi= (DifZ-Z) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 653.83 | 653.35 | 0.48 | **-0.21** |
| 2 | 622.11 | 624.40 | -2.29 | **-2.97** |
| 3 | 644.35 | 641.46 | 2.89 | **2.21** |
| 4 | 650.63 | 649.87 | 0.76 | **0.08** |
| 5 | 630.76 | 633.58 | -2.82 | **-3.50** |
| 6 | 660.45 | 660.92 | -0.47 | **-1.15** |
| 7 | 647.58 | 646.53 | 1.05 | **0.37** |
| 8 | 634.52 | 634.37 | 0.15 | **-0.53** |
| 9 | 644.93 | 622.68 | 22.25 | **21.57** |
| 10 | 662.59 | 662.96 | -0.37 | **-1.05** |
| 11 | 655.60 | 655.66 | -0.06 | **-0.75** |
| 12 | 651.52 | 650.89 | 0.63 | **-0.05** |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 13 | 616.56 | 616.02 | 0.54 | **-0.14** |
| 14 | 636.10 | 635.01 | 1.09 | **0.41** |
| 15 | 620.12 | 620.27 | -0.15 | **-0.84** |
| 16 | 648.96 | 649.14 | -0.18 | **-0.86** |
| 17 | 652.03 | 651.78 | 0.25 | **-0.43** |
| 18 | 636.01 | 635.83 | 0.18 | **-0.50** |
| 19 | 639.13 | 638.66 | 0.47 | **-0.21** |
| 20 | 635.20 | 634.85 | 0.35 | **-0.33** |
| 21 | 627.98 | 627.09 | 0.89 | **0.21** |
| 22 | 636.11 | 636.04 | 0.07 | **-0.61** |
| 23 | 633.49 | 633.95 | -0.46 | **-1.14** |
| 24 | 623.37 | 623.15 | 0.22 | **-0.46** |
| 25 | 613.03 | 612.93 | 0.10 | **-0.58** |
| 26 | 605.36 | 604.71 | 0.65 | **-0.03** |
| 27 | 604.24 | 604.41 | -0.17 | **-0.86** |
| 28 | 625.42 | 625.08 | 0.34 | **-0.34** |
| 29 | 613.81 | 612.96 | 0.85 | **0.17** |
| 30 | 610.14 | 612.06 | -1.92 | **-2.60** |
| 31 | 605.36 | 604.70 | 0.66 | **-0.02** |
| 32 | 601.16 | 600.74 | 0.42 | **-0.26** |
| 33 | 600.19 | 600.14 | 0.05 | **-0.64** |
| 34 | 603.10 | 603.28 | -0.18 | **-0.86** |
| 35 | 598.03 | 598.35 | -0.32 | **-1.00** |
| 36 | 590.90 | 591.12 | -0.22 | **-0.90** |
| 37 | 592.02 | 592.40 | -0.38 | **-1.06** |
| 38 | 595.51 | 594.97 | 0.54 | **-0.14** |

$$P^{+\varepsilon max\,(CH)}_{-\,\varepsilon min\,(CH)} = 1 - \frac{1}{2\,n} = 1 - \frac{1}{2\,.38} = 0{,}9868$$

Donde **P** es la probabilidad de que se acepten los puntos en una distribución normal. Para la probabilidad obtenida (considerando $\varepsilon_{max} \cong 3\sigma$ ), se tiene:

| $\varepsilon$ | $P^{+a}_{-a}$ | $\varepsilon$ | $P^{+a}_{-a}$ | $\varepsilon$ | $P^{+a}_{-a}$ | $\varepsilon$ | $P^{+a}_{-a}$ | $\varepsilon$ | $P^{+a}_{-a}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.0 σ | 0.00 | 0.7σ | 0.516 | 1.5σ | 0.866 | 2.3σ | 0.978 | 3.1σ | 0.998 |
| 0.1σ | 0.080 | 0.8σ | 0.576 | 1.6σ | 0.890 | 2.4σ | 0.984 | 3.2σ | 0.999 |
| 0.2σ | 0.158 | 0.9σ | 0.632 | 1.7σ | 0.911 | 2.5σ | 0.988 | 3.4σ | 0.9993 |
| 0.3σ | 0.236 | **σ** | **0.683** | 1.8σ | 0.928 | 2.6σ | 0.991 | **4σ** | **0.9999** |
| 0.4σ | 0.311 | 1.1σ | 0.729 | 1.9σ | 0.943 | 2.7σ | 0.993 | **∞** | **1** |
| 0.5σ | 0.383 | 1.2σ | 0.770 | **2σ** | **0.954** | 2.8σ | 0.995 | | |
| 0.6σ | 0.452 | 1.3σ | 0.806 | 2.1σ | 0.964 | 2.9σ | 0.996 | | |
| 0.675σ | 0.500 | 1.4σ | 0.838 | 2.2σ | 0.972 | 3σ | 0.997 | | |

Error admisible para la muestra $\varepsilon^{\pm}$ max = 2,5 x σ = ± 9,30 m

$\text{Límite Máximo} = \overline{X} - Z_C \,.\, \overline{S_X} = 21{,}57$

$\text{Límite Minimo} = \overline{X} + Z_C \,.\, \overline{S_X} = -3{,}50$

Se detecta el punto 9 como error grosero

Entonces:

$VZ_i$ 9 **>** $\varepsilon_{max}$ por lo tanto: 21,57 m **>** 9,30 m

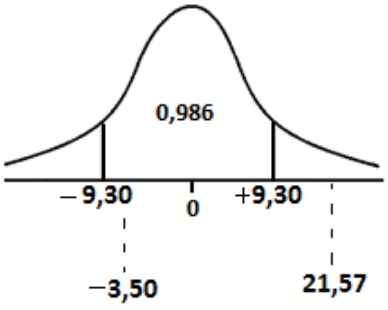



Figura 20.11

Eliminando este punto queda una muestra n=37, entonces se repetirá este mismo procedimiento realizando iteraciones, hasta lograr una precisión de error $\varepsilon_{max} = +2{,}00$ m obtenido de la tabla que relaciona las escalas con las precisiones de la carta, se considera que este valor representa la precisión mínima del marco de comparación de los datos.

Marco de comparación ± 2,00 m

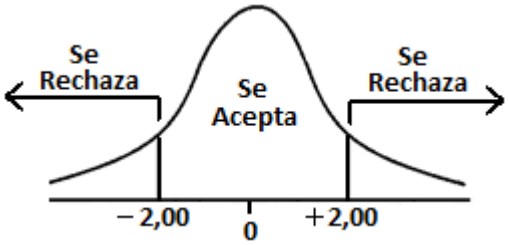



Figura 20.12

**En resumen:**

| ELIMINACIÓN DE ERRORES GROSEROS - CHAUVENET | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| **Variable Z** | | | | | |
| Número Iteración | Número de Muestra | Error Maximo ($\varepsilon_{max}$ +/-) | Límite Máximo | Límite Mínimo | Punto Eliminado |
| 0 | 38 | 9,29 | 21,57 | -3,50 | 9 |
| 1 | 37 | 2,40 | 2,79 | -2,92 | 3 y 5 |
| 2 | 35 | 1,76 | 0,99 | -2,39 | Ninguno |

Por el procedimiento de Chuvenet el punto 2 no se elimina debido a que en la última iteración el error máximo está por debajo de los 2,00 m (precisión gráfica de la carta), sin embargo el valor de DifZ del mismo si lo supera, motivo por el cual se decidió eliminar dicho punto.

## Detección y Corrección de Errores Sistemáticos.

$H_0$: Acepto $\qquad$ $H_1$: Rechazo

$H_0$: $\mu_0 = 0$ $\qquad$ $H_1$: $\mu_0 \neq 0$

t-student de Cálculo

$$t_Z = \frac{\overline{Z} * \sqrt{n}}{\overline{S_Z}} \qquad t_Z = 1{,}7340$$

t-student de Tabla
Nivel de Significación: $\alpha$ = 95 %

$$t_{\alpha\, n-1, \alpha/2} = 1{,}7459$$

Condición: $|t_Z| \leq t_{\alpha\, n-1, \alpha/2}$

La carta superará el test (t-student para muestras mayores a 30 puntos) con un nivel de significación del 95% si se cumple que:

$$|\mathbf{t_X}| \leq \mathbf{t_{\alpha\, n-1, \alpha/2}}$$ **∴ La carta si supera el test.**

Se acepta el test de hipótesis nula $H_0: \mu_0 = 0$ , es decir que la muestra responde a una distribución $\mu \cong 0$, lo que significa que la población distribuye normal dentro de un intervalo de confianza del 95%. La muestra representativa **no tiene errores sistemáticos**.

## Test de adherencia de Kolgomorov-Smirnov

Para un intervalo de confianza del 95% aplicando este estadístico se obtienen los siguientes datos:

**Condición:**

**Acepto**: **K-S < 95%** de significación

**Rechazo**: **K-S > 95%** de significación

**Variable DifZ**

K-S = **0,104 <** 95% = **0,227**

Se observa que tanto el test estadístico de la T-Student como el de Kolmogorov-Smirnov, acepta la hipótesis nula, diciéndonos que la distribución de los errores se ajusta a una distribución normal N (0,1), por lo tanto se interpreta que no existe sistematismo en la muestra de 34 puntos de estudio.

**La distribución es la siguiente:**

**<u>Variable DifZ</u>**

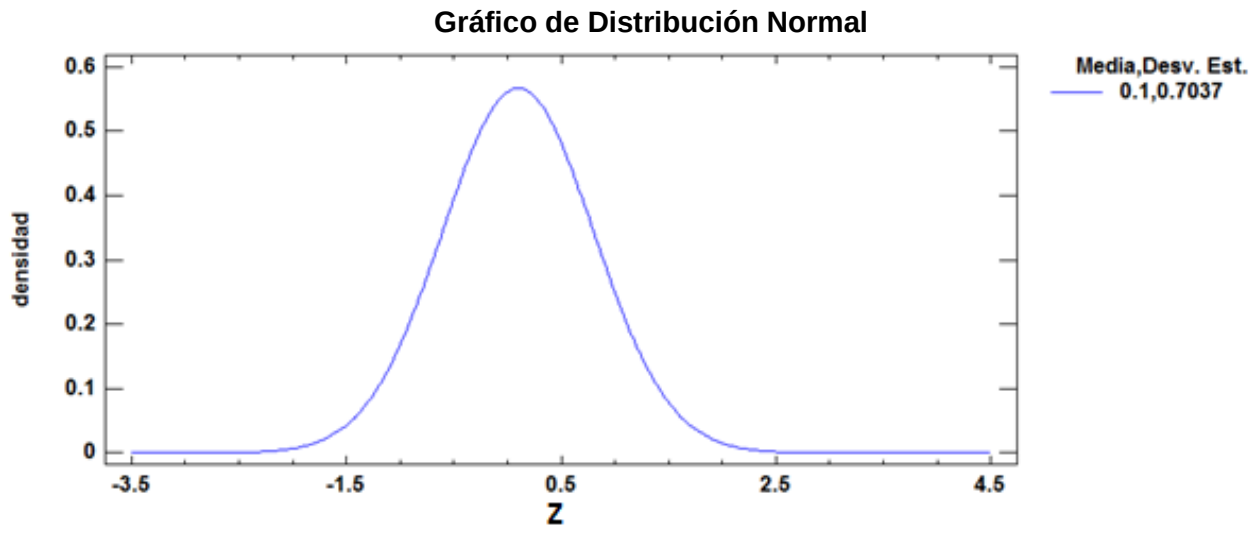



Figura 20.13

**Gráfica de Vectores errores**

Una vez que los métodos de detección de errores groseros y sistémicos demuestran que la distribución de puntos no tiene sesgos, se procede a visualizar gráficamente con los vectores errores a través del cálculo de su módulo y rumbo para determinar en forma clara su asistematismo.

**ρ**: Módulo del vector error (radial) $\sqrt{(\mathrm{Dif\,X})^2 + (\mathrm{Dif\,Y})^2 + (\mathrm{Dif\,Z})^2}$

***θ***: Rumbo del error: $\mathrm{Arctg}\left(\frac{\mathrm{Dif\,Z}}{\sqrt{(\mathrm{Dif\,X})^2+(\mathrm{Dif\,Y})^2}}\right)$

| Punto | Zc (Ortométrica) | Zt (Ortométrica) | DifZ | Rumbo (Radianes) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 653.35 | 653.83 | -0.48 | -1.33 |
| 4 | 649.87 | 650.63 | -0.76 | -0.34 |
| 6 | 660.92 | 660.45 | 0.47 | 0.43 |
| 7 | 646.53 | 647.58 | -1.05 | -0.34 |
| 8 | 634.37 | 634.52 | -0.15 | -1.07 |
| 10 | 662.96 | 662.59 | 0.37 | 0.18 |
| 11 | 655.66 | 655.60 | 0.06 | 0.01 |
| 12 | 650.89 | 651.52 | -0.63 | -0.56 |
| 13 | 616.02 | 616.56 | -0.54 | -0.10 |
| 14 | 635.01 | 636.10 | -1.09 | -0.35 |
| 15 | 620.27 | 620.12 | 0.15 | 0.15 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 16 | 649.14 | 648.96 | 0.18 | 0.98 |
| 17 | 651.78 | 652.03 | -0.25 | -0.46 |
| 18 | 635.83 | 636.01 | -0.18 | -0.03 |
| 19 | 638.66 | 639.13 | -0.47 | -0.20 |
| 20 | 634.85 | 635.20 | -0.35 | -1.37 |
| 21 | 627.09 | 627.98 | -0.89 | -0.56 |
| 22 | 636.04 | 636.11 | -0.07 | -0.05 |
| 23 | 633.95 | 633.49 | 0.46 | 0.73 |
| 24 | 623.15 | 623.37 | -0.22 | -0.04 |
| 25 | 612.93 | 613.03 | -0.10 | -0.50 |
| 26 | 604.71 | 605.36 | -0.65 | -0.21 |
| 27 | 604.41 | 604.24 | 0.17 | 0.17 |
| 28 | 625.08 | 625.42 | -0.34 | -0.08 |
| 29 | 612.96 | 613.81 | -0.85 | -1.06 |
| 30 | 612.06 | 610.14 | 1.92 | 1.54 |
| 31 | 604.70 | 605.36 | -0.66 | -0.21 |
| 32 | 600.74 | 601.16 | -0.42 | -0.39 |
| 33 | 600.14 | 600.19 | -0.05 | -0.12 |
| 34 | 603.28 | 603.10 | 0.18 | 0.76 |
| 35 | 598.35 | 598.03 | 0.32 | 0.67 |
| 36 | 591.12 | 590.90 | 0.22 | 0.13 |
| 37 | 592.40 | 592.02 | 0.38 | 0.08 |
| 38 | 594.97 | 595.51 | -0.54 | -1.53 |

## Gráfica de Sistematismo

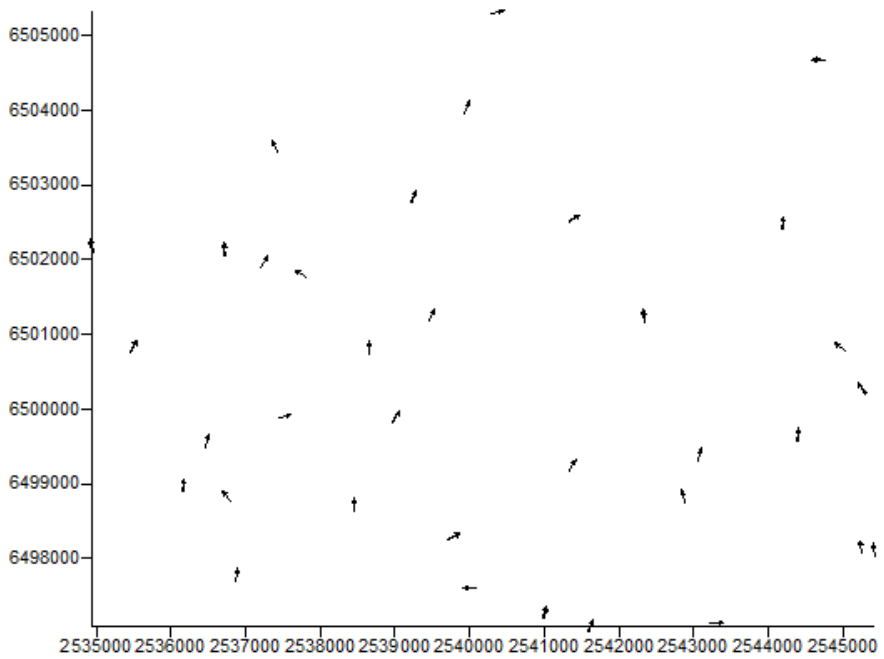



Figura 20.14

## Aplicación de test Chi-cuadrado ( Chi $^2$ ) para errores aleatorios

Se determina si el error aleatorio se encuentra entre límites aceptables, a través de un test sobre la varianza, estableciendo las siguientes hipótesis en relación a un máximo de varianza ${\sigma_0}^2$ preestablecido y concretado sobre cada componente ${\sigma_{0z}}^2$.

Desviación Estándar: $S_Z = 0{,}575$

Varianza: $\sigma_{0Z}{}^2 = 0{,}331$

Se supera el test (Chi $^2$) con un nivel de significación del 95% si se cumple que:

$$\chi_Z{}^2 < \sigma_0$$

Donde:

$$\chi_Z{}^2 = \frac{\check{S}_z{}^2 * (n-1)}{{\sigma_0}^2} = 2{,}73\ m$$

**Se supone un $\sigma_0$ preestablecido de 2,00 m** (que es el valor esperable de la calidad que tiene la carta).

Este valor resulta de considerar que la precisión en altimetría es la misma que en planimetría, ya que se establece que la región de incertidumbre en cada uno de los puntos es una esfera, por lo que el radio es el mismo en todas las direcciones.

**Conclusión:**

Se compara el resultado del test de hipótesis para cada variable con el $\sigma_0$ = 2,00 m preestablecido de la calidad que posee la carta.

$\sigma_Z = 2{,}00$ m < $\chi_Z{}^2 = 2{,}73$ m

**∴ No supera en test Chi $^2$**

Al no pasar el test, la calidad posicional del dato no está dentro de los parámetros internacionales.

Entonces:

$$\chi_Z{}^2 = \frac{0{,}575^{\,2} * (34-1)}{2{,}60^2} = 2{,}42\ \mathrm{m}$$

Se incrementa el valor de $\sigma_0$ de forma arbitraria a un $\sigma_0 = 2{,}60$ m, hasta que el test acepte la hipótesis nula.

**Conclusión:**

Se compara el resultado del test de hipótesis para cada variable con el $\sigma_0$ = 2,00 m preestablecido de la calidad que posee la carta.

$\sigma_0 = 2{,}60\ m \quad > \quad \chi_Z{}^2 = 2{,}42\ \mathrm{m}$

**∴ Supera en test Chi $^2$**

Se acepta el test de hipótesis nula, entonces el valor aleatorio está entre los límites aceptables. Por lo tanto se considera que en la muestra de 34 puntos no existen errores aleatorios al nivel previsto de $\sigma_0 = 2{,}60\ \mathrm{m}$.

**Saneada la muestra respecto de los errores groseros, sistemáticos y aleatorios se establece que la precisión de la carta (en altimetría) es de 2,60 m al 95% de nivel de confianza.**

## Método NSSDA (National Standard for Spatial Data Accuracy)

Al cumplirse, previamente, las condiciones de aleatoriedad y normalidad se obtiene lo siguiente:

**Error de cada punto**: $\mathrm{e}_Z = Z_C - Z_T$

**Error Medio Cuadrático**:

$$\mathrm{EMC}_Z = \sqrt{\frac{\sum e_Z{}^2}{n}} = 0{,}99\ \mathrm{m}$$

**Valor NSSDA$_H$ Altimétrico**

$$\mathrm{NSSDA}_Z = 1{,}9600 * (EMC_Z) = 1{,}96\ \mathrm{m}$$

## Conclusión:

- Se verifica que la exactitud vertical es de 1,96 m al 95% de nivel de confianza.
- Esto significa que un usuario de un conjunto de datos puede estar seguro de que la posición vertical de un objeto bien definido estará dentro de 1,96 metros de su verdadera ubicación en el 95% de las veces
- Se debe destacar que el estándar internacional NSSDA fija un error altimétrico de 1,96 m y se obtiene un error menor de 2,60 m fijado por EMAS.
  Por este motivo se puede afirmar que la carta pasa el estándar internacional utilizado en la actualidad.

- A continuación se puede interpretar que en la tabla DifZ ningún valor supera el establecido por el NSSDA, esto permite asegurar que la desviación muestral se encuentra dentro de la exactitud vertical propuesta por este estándar internacional.

| Punto | Zc | Zt | DifZ |
|---|---|---|---|
| 1 | 653.35 m | 653.83 m | -0.48 m |
| 4 | 649.87 m | 650.63 m | -0.76 m |
| 6 | 660.92 m | 660.45 m | 0.47 m |
| 7 | 646.53 m | 647.58 m | -1.05 m |
| 8 | 634.37 m | 634.52 m | -0.15 m |
| 10 | 662.96 m | 662.59 m | 0.37 m |
| 11 | 655.66 m | 655.60 m | 0.06 m |
| 12 | 650.89 m | 651.52 m | -0.63 m |
| 13 | 616.02 m | 616.56 m | -0.54 m |
| 14 | 635.01 m | 636.10 m | -1.09 m |
| 15 | 620.27 m | 620.12 m | 0.15 m |
| 16 | 649.14 m | 648.96 m | 0.18 m |
| 17 | 651.78 m | 652.03 m | -0.25 m |
| 18 | 635.83 m | 636.01 m | -0.18 m |
| 19 | 638.66 m | 639.13 m | -0.47 m |
| 20 | 634.85 m | 635.20 m | -0.35 m |
| 21 | 627.09 m | 627.98 m | -0.89 m |
| 22 | 636.04 m | 636.11 m | -0.07 m |
| 23 | 633.95 m | 633.49 m | 0.46 m |
| 24 | 623.15 m | 623.37 m | -0.22 m |
| 25 | 612.93 m | 613.03 m | -0.10 m |
| 26 | 604.71 m | 605.36 m | -0.65 m |
| 27 | 604.41 m | 604.24 m | 0.17 m |
| 28 | 625.08 m | 625.42 m | -0.34 m |
| 29 | 612.96 m | 613.81 m | -0.85 m |
| 30 | 612.06 m | 610.14 m | 1.92 m |
| 31 | 604.70 m | 605.36 m | -0.66 m |
| 32 | 600.74 m | 601.16 m | -0.42 m |
| 33 | 600.14 m | 600.19 m | -0.05 m |
| 34 | 603.28 m | 603.10 m | 0.18 m |
| 35 | 598.35 m | 598.03 m | 0.32 m |
| 36 | 591.12 m | 590.90 m | 0.22 m |
| 37 | 592.40 m | 592.02 m | 0.38 m |
| 38 | 594.97 m | 595.51 m | -0.54 m |

$$\mathbf{DifZ} = \overline{\mathbf{Z}} \pm \boldsymbol{\sigma}$$

Siendo: $$\mathbf{DifZ} = -\mathbf{0,17\ m} \pm \mathbf{0,57\ m}$$

## 21. CONCLUSIONES FINALES:

Los productos cartográficos necesarios para llevar a cabo este trabajo fueron obtenidos a través de pedidos especiales realizados a la Dirección de Geodesia y Catastro de la provincia de San Juan, inicialmente se pretendió que los mismos debían contener información que permita realizar los análisis esperados para determinar la exactitud posicional de la carta. Debido a que las capas no contaban con los metadatos requeridos, las mismas fue sometidas a ciertos procesos previos, como la generación de nodos, para complementar la información que las mismas contenían y así poder resolver las situaciones propuestas.

Los cálculos referidos a la determinación de la calidad, fueron realizados teniendo en consideración las circunstancias que se presentaron al momento de la medición de campaña, y la forma en que se creó la cartografía a analizar.

El resultado definitivo dependió entonces de los cálculos realizados utilizando la estadística descriptiva e inferencial y luego estándares internacionales, según lo propuesto por las normas ISO 19100 referidas a normas de calidad.

**Se destaca que el procedimiento para la obtención de la calidad de la carta, fue realizado en función de la UNIFICACIÓN de la nube de puntos correspondientes a las tres capas analizadas, resultando en una calidad de tipo global. Por esto se tuvo en cuenta que el valor final de calidad de la carta INTEGRADA estuvo influenciado por la admisión de puntos provenientes de cartografías de diferentes procedencias en cuanto a métodos de captura y precisiones.**

### De los objetivos específicos planteados:

A. Determinar, analizar, y ensayar métodos numéricos propuestos con datos reales para el tratamiento del control de la calidad posicional en la producción cartográfica.

B. Establecer la importancia de la calidad posicional en la información geográfica y en especial, en los productos cartográficos.

C. Identificar, analizar y comparar los diferentes métodos de evaluación internacionales de control posicional de productos cartográficos, y la categorización de dichos productos en función de los mismos (estándares internacionales).

**D.** Relacionar la calidad posicional en la cartografía con la Infraestructura de Datos Espaciales (IDES) y la Interoperabilidad de sus aspectos.

**Se concluye que:**

A. En el tratamiento numérico, a través del Análisis Exploratorio de Datos Espaciales (AEDES), se eliminaron los errores groseros que componían la muestra a través del estadístico de filtro Chauvenet, debido a que el análisis planimétrico y altimétrico se realizaron por separado, el número de la muestra resultó diferente para cada análisis respectivo.

La muestra resultante, fue de un total de n=26 para planimetría y n=34 para la altimetría, razón por la cual se utilizó el estadístico t-student para la posterior detección y

eliminación de errores sistemáticos, de lo expuesto, y en conjunto con el test de adherencia de Kolgomorov-Smirov se concluye que en la muestra final no existen sistematismos, lo que implica que la misma sigue una distribución aproximadamente normal N(0,1), por lo que se puede inferir que la muestra proviene de una población que distribuye también normal N(0,1).

Para la detección de errores aleatorios se realizó el test de hipótesis nula chi-cuadrado, donde se establece que para un 95% de confianza, la muestra no está afectada por los mismos, considerado como $\sigma_0 = 2{,}60\ \mathrm{m}$ (error aleatorio preestablecido).

A través del análisis realizado con un estándar internacional y teniendo en cuenta el procedimiento anterior, se re define las precisiones de las capas en estudio.

B. Las precisiones obtenidas fueron calculadas para un nivel de confianza del 95%, esto quiere decir que este porcentaje de puntos testeados tendrán un error respecto de su verdadera posición del terreno igual o mayor que el valor de exactitud calculado.

El test de hipótesis nula tanto en altimetría como en planimetría que plantea $H_0 : \sigma \leq \sigma_0$ al verificarse que $X^2{}_X \leq X^2{}_{X-1,\alpha}$ con lo que se puede plantear que con una confianza del 95% de no estar equivocados al asegurar que la carta estudiada tiene un error mínimo o precisión preestablecida $\sigma_0 = 2{,}60\ \mathrm{m}$ o lo que es lo mismo decir que se tiene una probabilidad del 5% de rechazar la hipótesis nula, siendo esta verdadera (error tipo I).

C. De los métodos de evaluación utilizados se obtuvieron los siguientes resultados:

| | | **PLANIMETRÍA** | **ALTIMETRÍA** |
|---|---|---|---|
| **PROCEDIMIENTO** | **Objeto** | Cartografía de Punto, Línea y Polígono. | |
| | **Elemento de Calidad** | Exactitud Posicional | |
| | **Subelemento de la Calidad** | Exactitud Relativa | |
| | **Método de Evaluación** | Estadística Descriptiva<br>Estadística Inferencial<br>Estándares Internacionales (NASSDA), para determinar la calidad posicional. | |
| | **Resultados de calidad de los Datos** | | |
| | **Precisión EMAS** | **2,60 m** | **2,60 m** |
| | **Escala Cartográfica** | 1 : 10000 | 1 : 10000 |
| | **Precisión NSSDA** | **2,93 m** | **1,96 m** |
| | **Escala Cartográfica** | 1 : 10000 | 1 : 7500 |
| | **Campo de aplicación** | | |

| | |
|---|---|
| | La aplicación de acuerdo a la precisión determinada dependerá del tipo de uso pretendido por el consumidor final. Esto a su vez comprende una serie de variables como: La zona a cubrir, los instrumentos con los que se cuenten, método de captura, calidad o confianza del marco de contrastación, etc. |

De acuerdo a los análisis realizados se concluye que el estándar internacional EMAS es más restrictivo en cuanto al procedimiento de evaluación de datos en comparación con NSSDA, debido a que en el primero se establece si la calidad de la carta pasa o no los test estadísticos (t-student y Chi-cuadrado), y en el segundo se obtiene el valor de la precisión de la misma que queda sujeta al análisis del consumidor de la carta, en función de supuestas aplicaciones. Este estándar no rechaza el producto, y es el que se utiliza a nivel internacional.

En la actualidad el método NSSDA es el más utilizado internacionalmente, ya que dependerá del usuario del producto determinar si la carta le es útil o no, en función la finalidad esperada.

Ambos estándares están contemplados en la norma de calidad internacional ISO 19138.

D. La temática evaluada en este trabajo de “exactitud posicional” se encuentra contemplada en las IDES, debido a que la calidad posicional de cualquier carta es uno de sus componentes más importantes.

Con esto el usuario que maneja datos espaciales tiene acceso a los mismos, para tomarlos y aplicarlos en lo que sea acorde al uso que se le pretende dar, por ejemplo, como lo contempla la Ley Nacional de Catastro Nº 26209.

## Propuestas:

Del análisis planimétrico de la totalidad de la muestra (38 puntos), se tiene:

- **Marcas catastrales**

| Punto | Xc | Yc | Xt | Yt | DifX | DifY |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **1** | 6505309.46 | 2540374.54 | 6505309.56 | 2540374.60 | **-0.10** | **-0.06** |
| **2** | 6504677.25 | 2544677.24 | 6504677.27 | 2544677.31 | **-0.02** | **-0.07** |
| **8** | 6502551.50 | 2541403.42 | 6502551.58 | 2541403.40 | **-0.08** | **0.02** |
| **16** | 6501811.09 | 2537740.95 | 6501811.20 | 2537740.90 | **-0.11** | **0.05** |
| **20** | 6499903.28 | 2537527.11 | 6499903.35 | 2537527.12 | **-0.07** | **-0.01** |
| **25** | 6499252.81 | 2541373.06 | 6499252.90 | 2541372.91 | **-0.09** | **0.15** |
| **29** | 6498294.46 | 2539792.75 | 6498294.43 | 2539792.27 | **0.03** | **0.48** |
| **30** | 6497602.57 | 2539995.76 | 6497602.52 | 2539995.78 | **0.05** | **-0.02** |
| **38** | 6497132.59 | 2543312.05 | 6497132.59 | 2543312.07 | **0.00** | **-0.02** |

- **Ejes de Calles**

| Punto | Xc | Yc | Xt | Yt | DifX | DifY |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **3** | 6504856.97 | 2541621.79 | 6504857.85 | 2541617.38 | **-0.88** | **4.41** |
| **4** | 6504039.30 | 2539956.19 | 6504041.26 | 2539956.98 | **-1.96** | **-0.79** |
| **6** | 6503524.91 | 2537395.81 | 6503525.89 | 2537395.51 | **-0.98** | **0.30** |
| **9** | 6502692.42 | 2543620.85 | 6502691.92 | 2543618.61 | **0.50** | **2.24** |
| **10** | 6502190.84 | 2534935.63 | 6502190.09 | 2534937.53 | **0.75** | **-1.90** |
| **12** | 6501970.61 | 2537249.37 | 6501970.97 | 2537248.43 | **-0.36** | **0.94** |
| **14** | 6501253.47 | 2539496.04 | 6501256.36 | 2539496.78 | **-2.89** | **-0.74** |
| **17** | 6500843.03 | 2535497.91 | 6500843.16 | 2535497.43 | **-0.13** | **0.48** |
| **21** | 6499900.47 | 2539009.04 | 6499901.76 | 2539009.65 | **-1.29** | **-0.61** |
| **23** | 6498833.96 | 2536743.04 | 6498834.44 | 2536743.22 | **-0.48** | **-0.18** |
| **26** | 6499390.11 | 2543076.30 | 6499388.19 | 2543073.85 | **1.92** | **2.45** |
| **28** | 6497777.47 | 2536879.79 | 6497781.27 | 2536878.03 | **-3.80** | **1.76** |
| **31** | 6497277.53 | 2541009.23 | 6497277.39 | 2541012.29 | **0.14** | **-3.06** |
| **33** | 6499652.27 | 2544396.11 | 6499652.53 | 2544396.40 | **-0.26** | **-0.29** |
| **34** | 6500833.17 | 2544962.27 | 6500832.99 | 2544962.21 | **0.18** | **0.06** |
| **36** | 6498111.06 | 2545412.26 | 6498111.24 | 2545410.58 | **-0.18** | **1.68** |

- **Parcelario**

| Punto | Xc | Yc | Xt | Yt | DifX | DifY |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **5** | 6504677.12 | 2543562.88 | 6504677.14 | 2543562.71 | **-0.02** | **0.17** |
| **7** | 6502843.02 | 2539250.61 | 6502840.27 | 2539251.63 | **2.75** | **-1.02** |
| **11** | 6502141.94 | 2536716.46 | 6502147.84 | 2536717.78 | **-5.90** | **-1.32** |
| **13** | 6502491.16 | 2544196.39 | 6502494.73 | 2544192.37 | **-3.57** | **4.02** |

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **15** | 6501240.59 | 2542334.50 | 6501241.54 | 2542334.79 | **-0.95** | **-0.29** |
| **18** | 6500822.69 | 2538650.69 | 6500818.82 | 2538655.31 | **3.87** | **-4.62** |
| **19** | 6499576.14 | 2536484.17 | 6499577.28 | 2536486.21 | **-1.14** | **-2.04** |
| **22** | 6498979.85 | 2536165.35 | 6498980.07 | 2536166.64 | **-0.22** | **-1.29** |
| **24** | 6498721.94 | 2538455.85 | 6498717.06 | 2538459.10 | **4.88** | **-3.25** |
| **27** | 6498830.35 | 2542857.81 | 6498830.10 | 2542858.78 | **0.25** | **-0.97** |
| **32** | 6497096.82 | 2541625.07 | 6497097.35 | 2541625.94 | **-0.53** | **-0.87** |
| **35** | 6500278.04 | 2545250.36 | 6500277.72 | 2545250.11 | **0.32** | **0.25** |
| **37** | 6498150.85 | 2545237.55 | 6498146.48 | 2545239.70 | **4.37** | **-2.15** |

Observando los valores de las diferencias DifX y DifY de las planillas presentadas anteriormente, existe una discrepancia en cuanto a las precisiones de las diferentes capas analizadas. Se destaca que la muestra de la capa de marcas catastrales tiene una precisión superior respecto a las otras dos, esto se debe a que dichas marcas están correctamente materializadas en el terreno y correctamente definidas en la capa a través de sus coordenadas. Las precisiones de las capas de ejes de calles y parcelario, se incrementaran a partir de las actualizaciones realizadas en función de los planos de mensura que ingresan a la repartición.

De lo expuesto, es posible analizar con el mismo criterio estadístico, la planimetría por separado de las capas correspondientes a marcas catastrales, ejes de calles y parcelario, y a su vez, del parcelario analizar por separado los vértices de polígonos que pertenecen a la zona rural y urbana, como también aquellos digitalizados por restitución fotogramétrica y a través de planos de mensura, todo esto en función de sus precisiones.

Como en este trabajo se realizó un análisis por nube de puntos (Metodología de Control Posicional por Puntos – MCPP), es posible también realizar otro tipo de análisis posicional teniendo en cuenta los diferentes elementos con distintas geometrías restantes como línea y polígono, (Metodología de Control Posicional por Elementos Lineales – MCPL), a través de modernos algoritmos como:

- Test de la Banda de Error Épsilon (Desarrolladores: Skidmore y Turner)
- Método de Orlados Simples (Desarrolladores: Goodchild y Hunter)
- Método de Orlados Dobles (Desarrolladores: Tyeite y Lengas)
- Método de la Distancia de Hausdorff (Desarrollador: Abbas, Grussenmeter y Hottier)
- Métodos de los Vectores Desplazamiento: propuesta sujeta a análisis de robustez (Desarrollador: Márquez, Eduardo).
- Test MPS (Estándar de Máxima Proporción) y MDS (Estándar de máxima Distorsión)

**Consideraciones a tener en cuenta para futuros trabajos de Validación Cartográfica:**

Antes de realizar cualquier tipo de trabajo de validación cartográfica (sobre todo en el carácter posicional), es importante lograr obtener la información en todos sus aspectos de lo que se está validando. Como por ejemplo:

- De donde proviene la cartografía (Ente público o Privado, realizada por un profesional de la agrimensura, etc.)

- Que niveles de precisiones posicionales posee (error o incertidumbre radial de cada punto cartográfico).
- Cuando fue realizada.
- Que instrumental se utilizó en la campaña de medición para generar dicha cartografía.
- Que métodos topográficos/geodésicos se utilizaron para obtener los datos base de generación de la cartografía en estudio.
- Que criterios llevaron al/los profesional/es a realizar la metodología de medición y que finalidades perseguían en tal medición, etc.
- La perfecta correlación entre el objeto (punto, línea y polígono) medida en la carta y su homólogo en el terreno. Si esto no es así, sobrevienen altos valores de las variables estocásticas DifX, DifY o DifZ, que luego impactan en forma directa en el cálculo final de la calidad de la carta. Esta situación es probable que haya sucedido con algunos puntos tomados como parte de la nube de puntos en este trabajo.

Esta serie de aspectos facilitarán en gran medida conocer la cartografía con la que se cuenta.

# ANEXOS

## ANEXO 1

## CORRECCION DE ERRORES SISTEMATICOS POSICIONALES EN LA CARTOGRAFIA DIGITAL POR MINIMOS CUADRADOS

Msc. Ing. Eduardo J. MARQUEZ

### INTRODUCIÓN

Casi todas las actividades diarias que nos toca desarrollar, tienen algo que ver con la información geográfica, desde la decisión donde vamos a vivir, donde vamos a viajar, el monitoreo del medio ambiente, hasta la planificación urbana, etc. Influenciada por la tecnología de la computación, las disciplinas académicas de las ciencias de la información geográfica tales como sensores remotos, GIS y cartografía digital, han sido dramáticamente afectadas en las últimas décadas. La cartografía digital ha revolucionado enormemente la cartografía tradicional a partir de la confección en sí de la carta hasta el manejo y análisis de los datos geográficos, todo apoyado en un ambiente multimedia.

Sin duda alguna, en los últimos años, la aparición en escena de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) han revolucionado las técnicas de manejo de datos espaciales.

Esta herramienta que en sus primeros momentos fuera diseñada para el inventario y la administración de la ocupación del suelo en grandes zonas de Canadá (1964), encuentra hoy aplicación en una gran variedad de ambientes (municipalidades, catastros, manejo de recursos naturales, redes de servicios etc.).

Enmarcados en el concepto que los GIS manejan datos geográficos, constituidos por dos componentes, una gráfica y la otra alfanumérica, sabemos que cada una de ellas tiene requerimientos propios y especiales en cuanto a la determinación de parámetros de calidad.

Este es hoy en día una problemática muy tenida en cuenta en el tratamiento de datos geográficos y análisis espaciales propuestos por los GIS, ya que la calidad de la información suministrada por los mismos estará en un todo de acuerdo con la calidad de la base geográfica usada.

### OBJETIVO

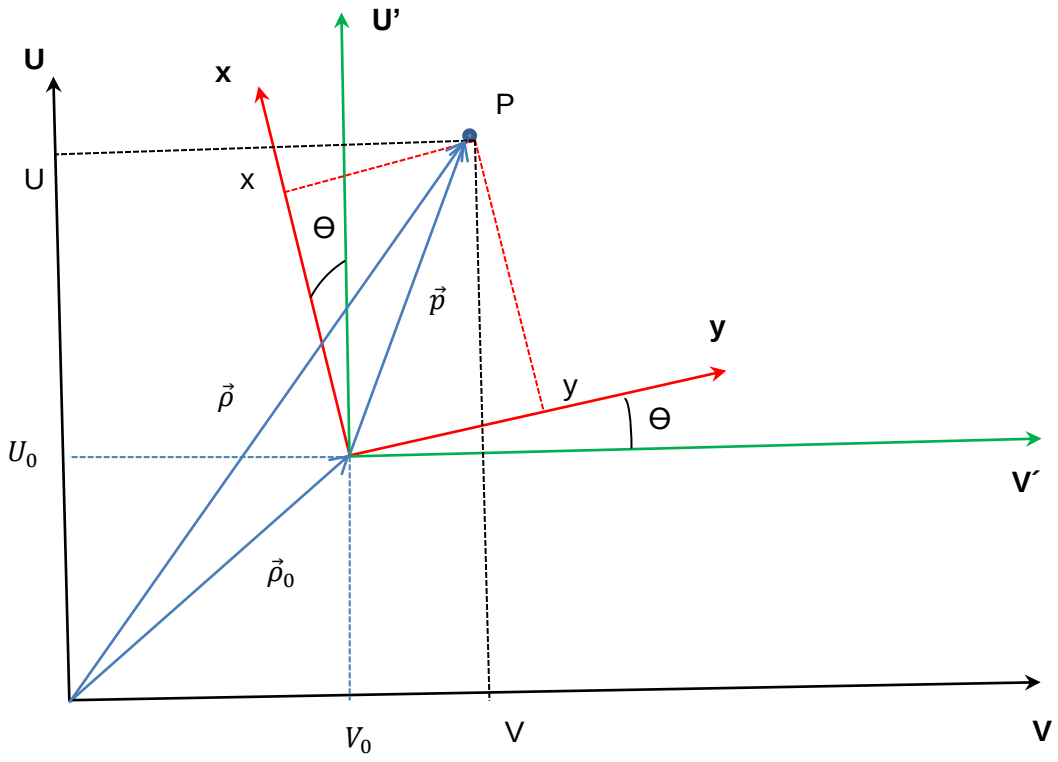
El objetivo de esta propuesta es presentar una metodología de trabajo basada en procedimientos apoyados en una muy conocida herramienta ya usada por los cartógrafos como es el Ajuste por Mínimo Cuadrado, para la cuantificación y posterior corrección de los errores sistemáticos en una cartografía digital. Para la gestión y el tratamiento estadístico de las variables aleatorias, se cuenta con una nube de puntos de control terrestre provenientes de una red de apoyo topo-geodésica de alta confiabilidad (marco de referencia de tareas para restitución fotogramétrica digital y captura del dato gráfico) y la misma muestra de puntos homólogos medidos por digitalización desde la carta digital en estudio.

Las BDG pueden estar afectadas por errores sistemáticos asociados a traslaciones rotaciones o cambios de escala. Los estándares de calidad posicional, tan solo hacen referencia a que, previamente a su aplicación, estos errores han de ser detectados y eliminados .Esto implica la necesidad de detectar y cuantificar estos errores

## CORRECCIÓN DE LOS ERRORES SISTEMATICOS

El tema que nos ocupa ahora es, una vez detectado la existencia de errores sistemáticos, cuantificarlos y eliminarlos. Para ello procedemos a implementar una vieja herramienta usada en la cartografía como la Transformación Afín Ajustada por Mínimo Cuadrado .Así, un error sistemático posicional planimetrico podría asimilarse a una traslación, un factor de escala y/o un giro que afecte a ambos pares de coordenadas de una BDG (ptos. de control a contrastar) y una fuente de mayor exactitud (ptos. de referencia).

Así, mediante la transformación afín 2D o transformación bidimensional conforme, se podría llegar a cuantificar y luego corregir errores sistemáticos mediante el ajuste por mínimo cuadrado.




$$\vec{\rho} = \vec{\rho}_0 + \overrightarrow{\lambda p}$$

$$\begin{vmatrix} U \\ V \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} U_0 \\ V_0 \end{vmatrix} + \lambda \begin{vmatrix} U' \\ V' \end{vmatrix}$$

Donde según dibujo:

$$\begin{vmatrix} x \\ y \end{vmatrix} = A \begin{vmatrix} U' \\ V' \end{vmatrix} \qquad \text{donde} \qquad A = \begin{vmatrix} \cos\Theta & \sin\Theta \\ -\sin\Theta & \cos\Theta \end{vmatrix}.$$

Premultiplicando por $A^{-1}$

$$A^{-1} \begin{vmatrix} x \\ y \end{vmatrix} = A^{-1} A \begin{vmatrix} U' \\ V' \end{vmatrix}$$

$$\begin{vmatrix} U' \\ V' \end{vmatrix} = A^{-1} \begin{vmatrix} x \\ y \end{vmatrix} \qquad = A^{t} \begin{vmatrix} x \\ y \end{vmatrix}$$

Luego:

$$\begin{vmatrix} U \\ V \end{vmatrix} = \lambda \begin{vmatrix} \cos\Theta & -\sin\Theta \\ \sin\Theta & \cos\Theta \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} x \\ y \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} U_0 \\ V_0 \end{vmatrix}$$

Desarrollando

$$U = (\lambda\cos\theta)x - (\lambda\sin\theta)y + U_0$$
$$V = (\lambda\sin\theta)x + (\lambda\cos\theta)y + V_0$$

Si:

a = $\lambda\cos\theta$
b = $\lambda\sin\theta$
$U_0$ = c
$V_0$ = d

Luego:

$$U = ax - by + c$$
$$V = bx + ay + d$$

Ec. de transf

$U_0$ Para n puntos

ax1 - by1 + c + 0d = $U_1 + u_1$
ay1 + bx1 +0c + d = $V_1 + v_1$
ax2 – by2 + c + 0d = $U_2 + u_2$
ay2 + bx2 +0c + d = $V_2 + v_2$
ax3 – by3 + c + 0d = $U_3 + u_3$
ay3 + bx3 +0c + d = $V_3 + u_3$
.....
axn - byn + c + 0d = $U_n + u_n$
ayn + bxn +0c + d = $V_n + v_n$

$$A * x = L + v$$

Donde:

A =

| | | | |
|---|---|---|---|
| x1 | - y1 | 1 | 0 |
| y1 | x1 | 0. | 1 |
| ..... | | | |
| xn | - yn | 1 | 0 |

Matriz de las observaciones

Matriz de los términos Indep.

En el ajuste por mínimos cuadrados se plantea que la suma de los residuos sea mínima :

$\sum vi^2$ = min

$$x = \begin{vmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{vmatrix} \qquad L = \begin{vmatrix} U_1 \\ V_1 \\ \\ U_n \\ V_n \end{vmatrix}$$

$$(A^T\,P\,A)x = A^T\,P\,L$$

Matriz de las incógnitas

$$(A^T\,P\,A)^{-1}(A^T\,P\,A)x = (A^T\,P\,A)^{-1}(A^T\,P\,L)$$

$$\boxed{x = (A^T\,P\,A)^{-1}(A^T\,P\,L)}$$

Vector Solución

$$X = \begin{pmatrix} a \\ b \\ c \\ d \\ \vdots \end{pmatrix}$$

Matriz de los residuos del ajuste

$$v = \begin{vmatrix} u_1 \\ v_1 \\ \\ u_n \\ v_n \end{vmatrix}$$

Se cuantifican para datos reales los errores sistemáticos resolviendo el sistema mediante la transformación afín 2D o transformación bidimensional y ajustada por mínimos cuadrados. Si se obtienen valores para la rotación muy pequeños del orden de los minutos y factor de escala 1 , bajo estas condiciones se puede usar Molodensky para calcular solo las traslaciones como errores sistemáticos bajo la premisa que:

$$\begin{vmatrix} U \\ V \end{vmatrix} = \lambda \begin{vmatrix} \cos\Theta & -\sin\Theta \\ \sin\Theta & \cos\Theta \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} x \\ y \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} U_0 \\ V_0 \end{vmatrix}$$

Si ϴ es pequeño < 1`

$$A = \begin{vmatrix} \cos\Theta & \sin\Theta \\ -\sin\Theta & \cos\Theta \end{vmatrix} \quad A = \begin{vmatrix} 1 & \theta \\ -\theta & 1 \end{vmatrix} \sim \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{vmatrix}$$

Si λ=1

$$\begin{vmatrix} U \\ V \end{vmatrix} = 1 \begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{vmatrix} * \begin{vmatrix} x \\ y \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} U_0 \\ V_0 \end{vmatrix}$$

$$\begin{vmatrix} U \\ V \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} x \\ y \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} U_0 \\ V_0 \end{vmatrix}$$

U=x + U0
V=y + V0

→ Transf. por Molodensky

Luego:

Corregir los errores sistemáticos por traslación (U0; V0) en función del error medio detectado en cada componente. Así:

(1)

$$U0 = \frac{1}{n}\sum_1^n (U - x)$$

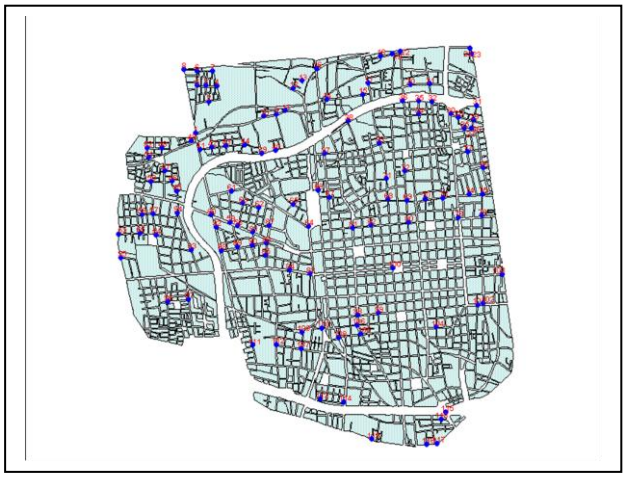
$$V0 = \frac{1}{n}\sum_1^n (V - y)$$

→ Correcciones

**DESARROLLO DE LA PROPUESTA**

Veamos un ejemplo de aplicación para datos tomados de la realidad desde una carta digital del área del departamento de Capital Esc. 1:5000. Los puntos de chequeo con coordenadas de terreno (en coordenadas Gauss-Kruger CAI 69 faja 2) que se obtuvieron desde una nube de puntos del proyecto SICAT (Sistema de Información del Catastro Territorial – Provincia de San Juan). Los puntos homólogos se midieron en la carta por digitalización en pantalla. Así se obtuvo una muestra de 119 puntos, con una distribución planimétrica, relativamente homogénea. Luego se tratarán los parámetros estadísticos ya vistos para luego compararlo con los estándares de calidad y poder de este modo saber si nuestra carta es un producto confiable como soporte cartográfico para aplicaciones métricas dentro de un GIS.

Distribución e identificación de puntos



**SELECCIÓN DE UNA MUESTRA DE n PUNTOS,CON n>=20**

**Coordenadas de Terreno**

| Recno | X | Y |
|---|---|---|
| 1 | 6513394.439 | 2542214.716 |
| 2 | 6513829.860 | 2542405.624 |
| 3 | 6514053.759 | 2542366.943 |
| 4 | 6514041.955 | 2542523.060 |
| 5 | 6514048.190 | 2542232.567 |
| 6 | 6514251.402 | 2542234.400 |
| 7 | 6514251.457 | 2542464.041 |
| 8 | 6514271.478 | 2542032.531 |
| 9 | 6513649.684 | 2543399.072 |
| 10 | 6513625.254 | 2543220.699 |
| 11 | 6513702.476 | 2543530.699 |
| 12 | 6514009.560 | 2543655.488 |
| 13 | 6514114.871 | 2543785.090 |
| 14 | 6513861.590 | 2544147.116 |
| 15 | 6513928.298 | 2544678.920 |
| 16 | 6514281.514 | 2543998.055 |
| 17 | 6514082.295 | 2544763.339 |
| 18 | 6514451.613 | 2544941.161 |
| 19 | 6514490.089 | 2545114.044 |
| 20 | 6514060.607 | 2545383.190 |
| 21 | 6514070.304 | 2545669.840 |
| 22 | 6514518.606 | 2545238.680 |
| 23 | 6514489.131 | 2546293.385 |
| 24 | 6514566.366 | 2546270.504 |
| 25 | 6513455.849 | 2546182.745 |
| 26 | 6513460.491 | 2546293.277 |
| 27 | 6513460.496 | 2546293.277 |
| 28 | 6513608.740 | 2546098.008 |
| 29 | 6513571.468 | 2546321.941 |
| 30 | 6513659.127 | 2545980.153 |
| 31 | 6513772.697 | 2546362.909 |
| 32 | 6513829.808 | 2545700.853 |
| 33 | 6513254.297 | 2544925.514 |
| 34 | 6513658.742 | 2545511.418 |
| 35 | 6513832.559 | 2545507.194 |

**Coordenadas de la Carta**

| Recno | Xc | Yc |
|---|---|---|
| 1 | 6513393.159 | 2542213.973 |
| 2 | 6513829.843 | 2542405.322 |
| 3 | 6514054.700 | 2542365.648 |
| 4 | 6514041.106 | 2542522.243 |
| 5 | 6514048.042 | 2542232.583 |
| 6 | 6514251.105 | 2542234.297 |
| 7 | 6514251.941 | 2542463.082 |
| 8 | 6514271.741 | 2542032.241 |
| 9 | 6513649.697 | 2543398.411 |
| 10 | 6513625.300 | 2543220.226 |
| 11 | 6513703.120 | 2543529.627 |
| 12 | 6514009.561 | 2543654.813 |
| 13 | 6514113.160 | 2543785.192 |
| 14 | 6513860.960 | 2544146.729 |
| 15 | 6513926.849 | 2544679.447 |
| 16 | 6514280.685 | 2543998.128 |
| 17 | 6514082.316 | 2544762.995 |
| 18 | 6514450.874 | 2544941.313 |
| 19 | 6514489.984 | 2545113.039 |
| 20 | 6514060.029 | 2545382.899 |
| 21 | 6514069.422 | 2545668.180 |
| 22 | 6514517.463 | 2545239.489 |
| 23 | 6514489.984 | 2546291.739 |
| 24 | 6514565.694 | 2546271.688 |
| 25 | 6513455.684 | 2546181.975 |
| 26 | 6513461.576 | 2546291.875 |
| 27 | 6513461.576 | 2546291.875 |
| 28 | 6513608.623 | 2546097.435 |
| 29 | 6513571.341 | 2546322.019 |
| 30 | 6513657.690 | 2545980.242 |
| 31 | 6513772.646 | 2546363.230 |
| 32 | 6513829.979 | 2545699.725 |
| 33 | 6513253.814 | 2544924.491 |
| 34 | 6513658.954 | 2545511.177 |
| 35 | 6513832.644 | 2545505.848 |
| 36 | 6513837.272 | 2545271.461 |

## CÁLCULO DE LA NUEVA VARIABLE ALEATORIA $\Delta X_i, \Delta Y_i$

$\Delta X_i = Xt_i - Xm_i$ $\Delta Y_i = Yt_i - Ym_i$

| Recno | X | Y | Xc | Yc | Difx | Dify |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 6513394.439 | 2542214.716 | 6513393.159 | 2542213.973 | -1.280 | -0.743 |
| 2 | 6513829.860 | 2542405.624 | 6513829.843 | 2542405.322 | -0.017 | -0.302 |
| 3 | 6514053.759 | 2542366.943 | 6514054.700 | 2542365.648 | 0.941 | -1.295 |
| 4 | 6514041.955 | 2542523.060 | 6514041.106 | 2542522.243 | -0.849 | -0.817 |
| 5 | 6514048.190 | 2542232.567 | 6514048.042 | 2542232.583 | -0.148 | 0.016 |
| 6 | 6514251.402 | 2542234.400 | 6514251.105 | 2542234.297 | -0.297 | -0.103 |
| 7 | 6514251.457 | 2542464.041 | 6514251.941 | 2542463.082 | 0.484 | -0.959 |
| 8 | 6514271.478 | 2542032.531 | 6514271.741 | 2542032.241 | 0.263 | -0.290 |
| 9 | 6513649.684 | 2543399.072 | 6513649.697 | 2543398.411 | 0.013 | -0.661 |
| 10 | 6513625.254 | 2543220.699 | 6513625.300 | 2543220.226 | 0.046 | -0.473 |
| 11 | 6513702.476 | 2543530.699 | 6513703.120 | 2543529.627 | 0.644 | -1.072 |
| 12 | 6514009.560 | 2543655.488 | 6514009.561 | 2543654.813 | 0.001 | -0.675 |
| 13 | 6514114.871 | 2543785.090 | 6514113.160 | 2543785.192 | -1.711 | 0.102 |
| 14 | 6513861.590 | 2544147.116 | 6513860.960 | 2544146.729 | -0.630 | -0.387 |
| 15 | 6513928.298 | 2544678.920 | 6513926.849 | 2544679.447 | -1.449 | 0.527 |
| 16 | 6514281.514 | 2543998.055 | 6514280.685 | 2543998.128 | -0.829 | 0.073 |
| 17 | 6514082.295 | 2544763.339 | 6514082.316 | 2544762.995 | 0.021 | -0.344 |
| 18 | 6514451.613 | 2544941.161 | 6514450.874 | 2544941.313 | -0.739 | 0.152 |
| 19 | 6514490.089 | 2545114.044 | 6514489.984 | 2545113.039 | -0.105 | -1.005 |
| 20 | 6514060.607 | 2545383.190 | 6514060.029 | 2545382.899 | -0.578 | -0.291 |
| 21 | 6514070.304 | 2545669.840 | 6514069.422 | 2545668.180 | -0.882 | -1.660 |
| 22 | 6514518.606 | 2545238.680 | 6514517.463 | 2545239.489 | -1.143 | 0.809 |
| 23 | 6514489.131 | 2546293.385 | 6514489.984 | 2546291.739 | 0.853 | -1.646 |
| 24 | 6514566.366 | 2546270.504 | 6514565.694 | 2546271.688 | -0.672 | 1.184 |
| 25 | 6513455.849 | 2546182.745 | 6513455.684 | 2546181.975 | -0.165 | -0.770 |
| 26 | 6513460.491 | 2546293.277 | 6513461.576 | 2546291.875 | 1.085 | -1.402 |
| 27 | 6513460.496 | 2546293.277 | 6513461.576 | 2546291.875 | 1.080 | -1.402 |
| 28 | 6513608.740 | 2546098.008 | 6513608.623 | 2546097.435 | -0.117 | -0.573 |
| 29 | 6513571.468 | 2546321.941 | 6513571.341 | 2546322.019 | -0.127 | 0.078 |
| 30 | 6513659.127 | 2545980.153 | 6513657.690 | 2545980.242 | -1.437 | 0.089 |
| 31 | 6513772.697 | 2546362.909 | 6513772.646 | 2546363.230 | -0.051 | 0.321 |
| 32 | 6513829.808 | 2545700.853 | 6513829.979 | 2545699.725 | 0.171 | -1.128 |
| 33 | 6513254.297 | 2544925.514 | 6513253.814 | 2544924.491 | -0.483 | -1.023 |
| 34 | 6513658.742 | 2545511.418 | 6513658.954 | 2545511.177 | 0.212 | -0.241 |
| 35 | 6513832.559 | 2545507.194 | 6513832.644 | 2545505.848 | 0.085 | -1.346 |

**DETECCIÓN DE ERRORES GROSEROS**

para n=119 y coord. en X

$$\Delta X_i = Xt_i - Xm_i$$
$$\overline{\Delta X_i} = -0.27061$$
$$\sum_{i=1}^{n} \Delta X_i = -32.203$$
$$\sigma_x = 0.79867$$

Según Chauvenet

$$P^{+\varepsilon max_{(CH)}}_{-\varepsilon amx_{(CH)}} = 1 - \frac{1}{2n}$$ = 1-1/2*119 = 0.99579 = 99.579 %

Luego desde la ***Tabla 1***

$$+-\varepsilon_x max = 2.9\sigma_x = 2.9 * 0.79867 = 2.32 mts$$

$$\sigma_x = 0.79867$$

Ninguno de los $\Delta X_i = Xt_i - Xm_i$ ni los $\Delta X_i = Xt_i - Xm_i$ supera el valor máximo permitido dado por el criterio de Chauvenet, por lo tanto no es necesario eliminar ningún observable. Si eventualmente hubiese que eliminar alguno observable, habría que repetir el proceso con el resto de los datos.

## DETERMINACIÓN DE SISTEMATISMOS o BIAS

Mediante el test de la t de Student y test de hipótesis nula para la muestra podemos analizar el comportamiento de la distribución de los errores

Hypothesis Tests of ΔX
---
Sample mean = -0,27061
Sample standard deviation = 0,79867
Sample size = 119

95,0% confidence interval for mean:
-0,27061 +/- 0,144984 [-0,415594,-0,125626]

Null Hypothesis: mean = 0,0
Alternative: not equal
Computed t statistic = -3,69615
P-Value = 0,000333403
**Reject the null hypothesis for alpha = 0,05.**

The StatAdvisor
---
This analysis shows the results of performing a hypothesis test concerning the mean (mu) of a normal distribution. The two hypotheses to be tested are:

Null hypothesis: mu = 0,0
Alternative hypothesis: mu <> 0,0

Given a sample of 119 observations with a mean of -0,27061 and a standard deviation of 0,79867, the computed t statistic equals -3,69615. Since the P-value for the test is less than 0,05, the null hypothesis is rejected at the 95,0% confidence level. The confidence interval shows that the values of mu supported by the data fall between -0,415594 and -0,125626.

Hypothesis Tests of ΔY
---
Sample mean = -0,42435
Sample standard deviation = 0,866
Sample size = 119

95,0% confidence interval for mean:
-0,42435 +/- 0,157206 [-0,581556,-0,267144]

Null Hypothesis: mean = 0,0
Alternative: not equal
Computed t statistic = -5,34539
P-Value = 4,46769E-7
**Reject the null hypothesis for alpha = 0,05.**

The StatAdvisor
---
This analysis shows the results of performing a hypothesis test concerning the mean (mu) of a normal distribution. The two hypotheses to be tested are:

Null hypothesis: mu = 0,0
Alternative hypothesis: mu <> 0,0

Given a sample of 119 observations with a mean of -0,42435 and a standard deviation of 0,866, the computed t statistic equals -5,34539.Since the P-value for the test is less than 0,05, the null hypothesis is rejected at the 95,0% confidence level. The confidence interval shows that the values of mu supported by the data fall between -0,581556 and -0,267144.

## Test de adherencia o Kolmogorov-Smirnov

| | DIFX | DIFY |
|---|---|---|
| Number of values | 119 | 119 |
| Mean | -0.27061 | -0.42435 |
| Standard deviation | 0.79867 | 0.86633 |
| **Kolmogorov-Smirnov stat** | **0.057** | **0.07** |
| **Critical K-S stat, alpha=.05** | **0.123** | **0.123** |

Se puede observar que tanto el test estadístico de la T-Student como el de Kolmogorov-Smirnov, rechazan la hipótesis nula, diciéndonos que la distribución de los errores no se ajusta a una distribución normal N (0,1), por lo tanto se interpreta que existe sistematismo en las variables estudiadas.

### CORRECCIÓN DE LOS ERRORES SISTEMÁTICOS

El tema que nos ocupa ahora es, una vez detectado la existencia de errores sistemáticos, cuantificarlos y eliminarlos.

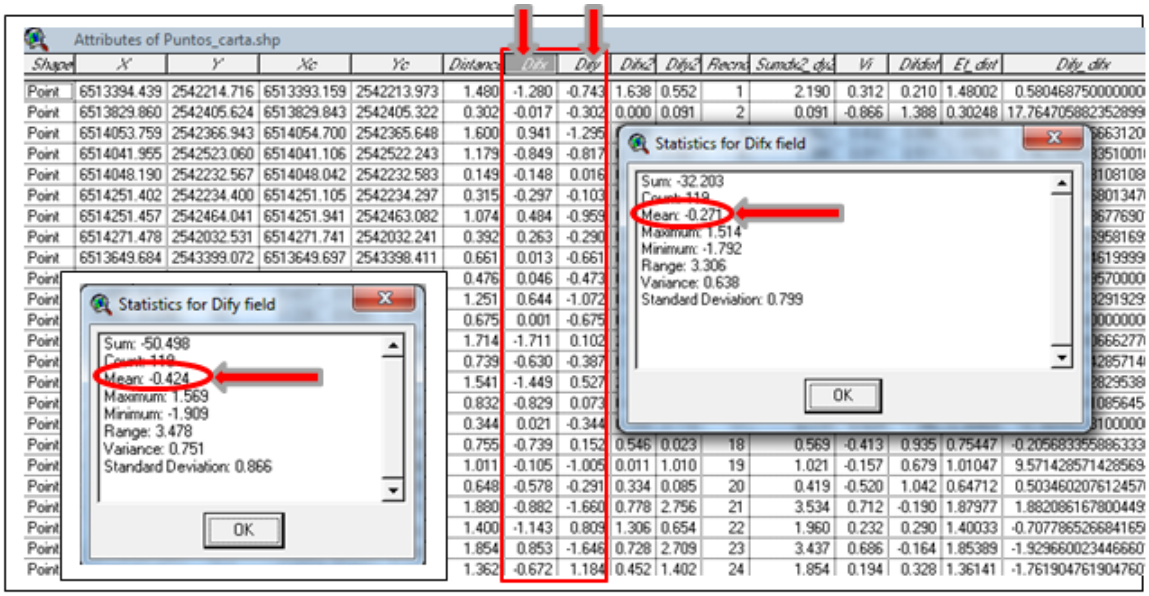
Se cuantifican para el ejemplo con datos reales los errores sistemáticos resolviendo el sistema mediante la transformación afín 2D o transformación bidimensional y ajustada por mínimos cuadrados mediante la ejecución de una subrutina hecha en MatLab ( Programa PRMZ_4 elaborado por Ing. Raúl A. Marquez). Se obtuvieron valores para la rotación muy pequeños del orden de los 7” y factor de escala 1 y bajo estas condiciones se puede usar Molodensky para calcular solo las traslaciones como errores sistemáticos.

Siguiendo con el ejemplo y aplicando la rutina MOLOD_2 en MatLab (Programa elaborado por el Ing. Raúl A. Marquez) para los 119 puntos tomados como muestra, se calculan las traslaciones como:

**U0 = -0.271**

**V0 = -0.424**

Estos valores coinciden según lo visto anteriormente en (1), en las expresiones del error medio para cada componente x e y calculadas en la tabla siguiente



Estos son los valores calculados como errores sistemáticos, previamente detectados como tales.

Se proponen dos metodologías para observar el efecto de la corrección de los errores sistemáticos sobre la cartografía digital tratada, uno analítico y otro grafico

**Propuesta Analítica:**

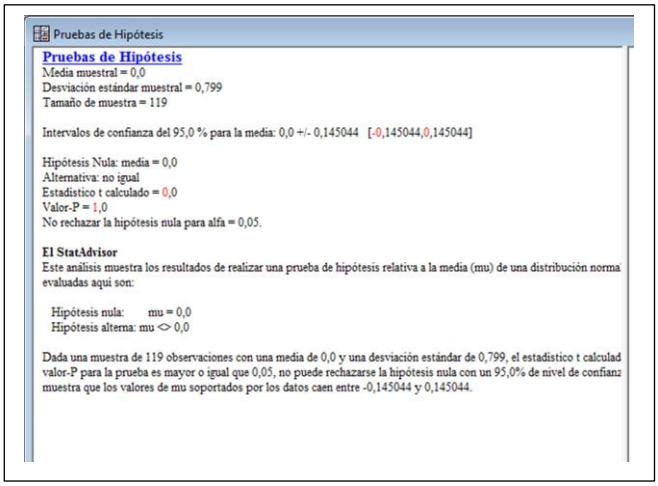
Afectar las coordenadas de la carta (xc, yc) mediante las traslaciones U0 y V0 (errores sistemáticos) calculadas anteriormente, generando un archivo con las coordenadas corregidas (Xc_transf; Yc_transf), y las nuevas discrepancias entre estas coordenadas corregidas y las del terreno (difxt_xct, difyt_yct) se someterán de nuevo al test estadístico de t-Student para analizar si este conjunto nuevo de variables (las dif) pasan la hipótesis nula o no. Si lo hace se supondrá que la muestra está libre de errores sistemáticos.

$$x_{corr} = x_c - U_0$$

$$y_{corr} = y_c - V_0$$

| Xc_transf | Yc_transf | Difxt_xct | Difyt_yct |
|---|---|---|---|
| 6513393.430 | 2542214.397 | 1.009 | 0.319 |
| 6513830.114 | 2542405.746 | -0.254 | -0.122 |
| 6514054.971 | 2542366.072 | -1.212 | 0.871 |
| 6514041.377 | 2542522.667 | 0.578 | 0.393 |
| 6514048.313 | 2542233.007 | -0.123 | -0.440 |
| 6514251.376 | 2542234.721 | 0.026 | -0.321 |
| 6514252.212 | 2542463.506 | -0.755 | 0.535 |
| 6514272.012 | 2542032.665 | -0.534 | -0.134 |
| 6513649.968 | 2543398.835 | -0.284 | 0.237 |
| 6513625.571 | 2543220.650 | -0.317 | 0.049 |
| 6513703.391 | 2543530.051 | -0.915 | 0.648 |
| 6514009.832 | 2543655.237 | -0.272 | 0.251 |
| 6514113.431 | 2543785.616 | 1.440 | -0.526 |
| 6513861.231 | 2544147.153 | 0.359 | -0.037 |
| 6513927.120 | 2544679.871 | 1.178 | -0.951 |
| 6514280.956 | 2543998.552 | 0.558 | -0.497 |
| 6514082.587 | 2544763.419 | -0.292 | -0.080 |
| 6514451.145 | 2544941.737 | 0.468 | -0.576 |

Tratamiento estadístico de las variables diferencias (difxt_xct; difyt_yct), mostrando el resultado de la prueba de T-Student y la aceptación de la hipótesis nula, aseverando al no rechazarla que la muestra esta liberada y corregida de errores sistemáticos.


Pruebas de Hipótesis

**Pruebas de Hipótesis**
Media muestral = 0,0
Desviación estándar muestral = 0,799
Tamaño de muestra = 119

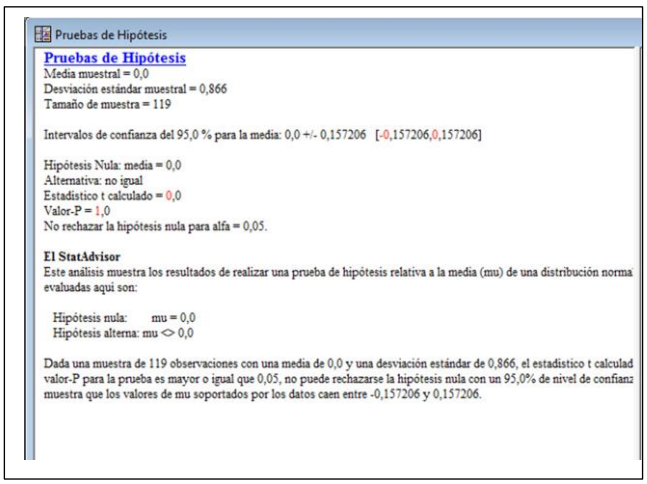
Intervalos de confianza del 95,0 % para la media: 0,0 +/- 0,145044 [-0,145044,0,145044]

Hipótesis Nula: media = 0,0
Alternativa: no igual
Estadístico t calculado = 0,0
Valor-P = 1,0
No rechazar la hipótesis nula para alfa = 0,05.

**El StatAdvisor**
Este análisis muestra los resultados de realizar una prueba de hipótesis relativa a la media (mu) de una distribución norma
evaluadas aquí son:

Hipótesis nula: mu = 0,0
Hipótesis alterna: mu <> 0,0

Dada una muestra de 119 observaciones con una media de 0,0 y una desviación estándar de 0,799, el estadístico t calculad
valor-P para la prueba es mayor o igual que 0,05, no puede rechazarse la hipótesis nula con un 95,0% de nivel de confianz
muestra que los valores de mu soportados por los datos caen entre -0,145044 y 0,145044.


Pruebas de Hipótesis

**Pruebas de Hipótesis**
Media muestral = 0,0
Desviación estándar muestral = 0,866
Tamaño de muestra = 119

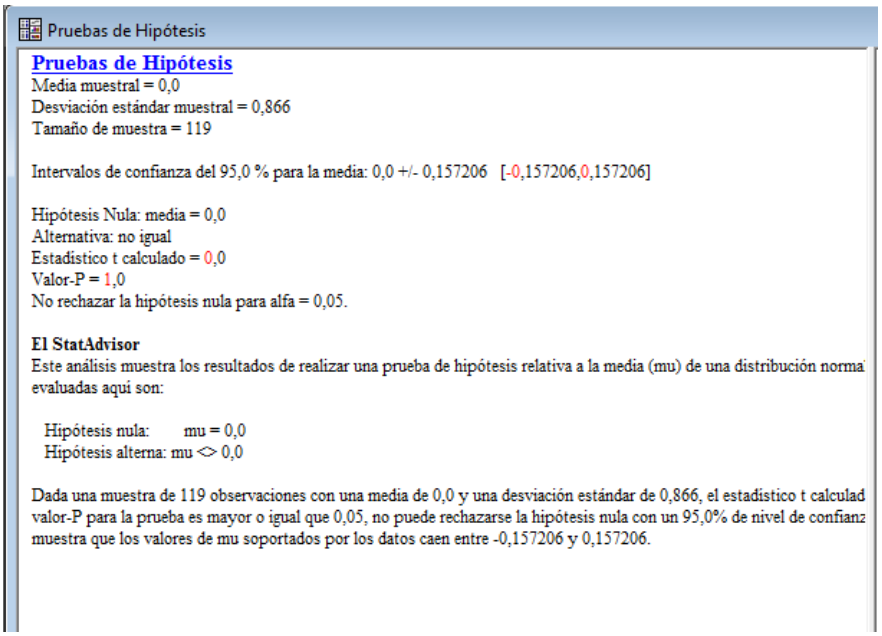
Intervalos de confianza del 95,0 % para la media: 0,0 +/- 0,157206 [-0,157206,0,157206]

Hipótesis Nula: media = 0,0
Alternativa: no igual
Estadístico t calculado = 0,0
Valor-P = 1,0
No rechazar la hipótesis nula para alfa = 0,05.

**El StatAdvisor**
Este análisis muestra los resultados de realizar una prueba de hipótesis relativa a la media (mu) de una distribución norma
evaluadas aquí son:

Hipótesis nula: mu = 0,0
Hipótesis alterna: mu <> 0,0

Dada una muestra de 119 observaciones con una media de 0,0 y una desviación estándar de 0,866, el estadístico t calculad
valor-P para la prueba es mayor o igual que 0,05, no puede rechazarse la hipótesis nula con un 95,0% de nivel de confianz
muestra que los valores de mu soportados por los datos caen entre -0,157206 y 0,157206.


Pruebas de Hipótesis

**Pruebas de Hipótesis**
Media muestral = 0,0
Desviación estándar muestral = 0,866
Tamaño de muestra = 119

Intervalos de confianza del 95,0 % para la media: 0,0 +/- 0,157206 [-0,157206,0,157206]

Hipótesis Nula: media = 0,0
Alternativa: no igual
Estadístico t calculado = 0,0
Valor-P = 1,0
No rechazar la hipótesis nula para alfa = 0,05.

**El StatAdvisor**
Este análisis muestra los resultados de realizar una prueba de hipótesis relativa a la media (mu) de una distribución normal
evaluadas aquí son:

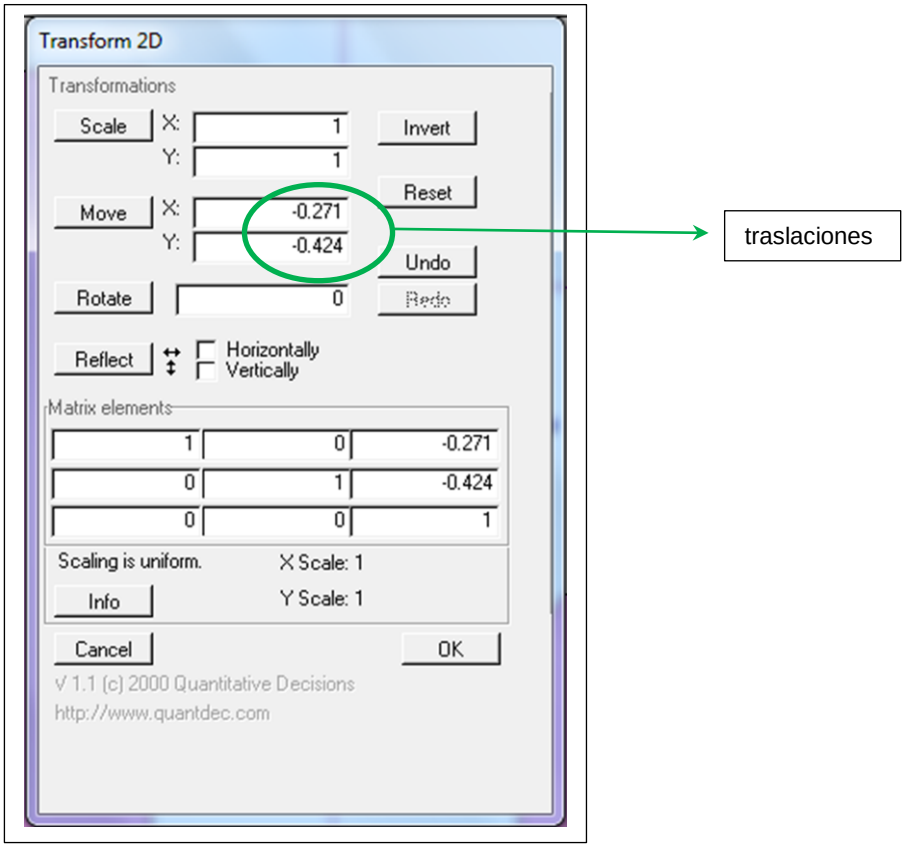
Hipótesis nula: mu = 0,0
Hipótesis alterna: mu <> 0,0

Dada una muestra de 119 observaciones con una media de 0,0 y una desviación estándar de 0,866, el estadístico t calculad
valor-P para la prueba es mayor o igual que 0,05, no puede rechazarse la hipótesis nula con un 95,0% de nivel de confianz
muestra que los valores de mu soportados por los datos caen entre -0,157206 y 0,157206.

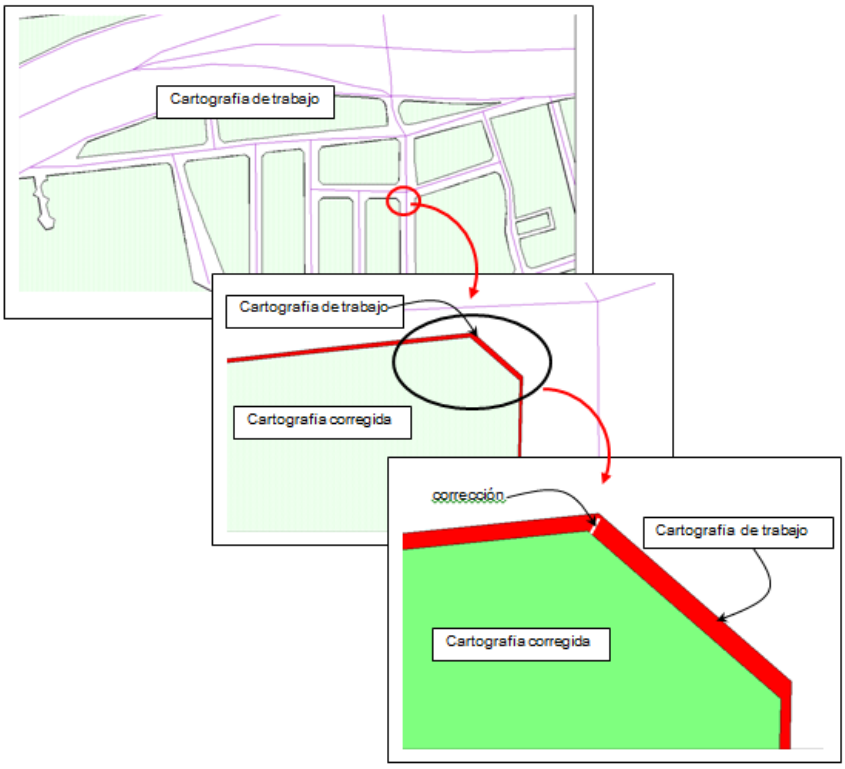
Propuesta Gráfica:

Tomando los valores de las traslaciones ya calculadas e insertados en las rutinas Transform Themes 1.11 y Transform 2d del programa ArcView 3.2 corrijo los errores sistemáticos y genero una nueva cobertura corregida . Este tratamiento lo puedo hacer para varias capas que conformarán un proyecto determinado.

En la rutina se presenta un formulario donde el usuario ingresa los valores de los parámetros de la transformación de helmert, que en nuestro caso solamente se ingresaron las traslaciones calculadas con anterioridad (rotación muy pequeña y factor de escala 1) y el programa resuelve la transformación con un resultado gráfico de nuevas capas ya corregidas




Visualización de la corrección en una capa de parcelas (polígonos) por efecto de errores sistemáticos asimilado a las traslaciones



## Observaciones:

- Para la escala de la carta tratada 1:5000 se pudieron lograr valores de corrección general medidos en la carta de alrededor de 0.5 mts.
- La precisión del marco de referencia deberá ser inobjetable y confiable. Se considera que su precisión deberá ser por lo menos 3 veces superior a la de la muestra test ( puntos medidos en la carta)
- Un punto débil y a tener en cuenta en este procedimiento es la forma de captura y asignación de las coordenadas planas de los puntos test. Un inadecuado tratamiento en esta fase, puede generar fuertes errores groseros y sistemáticos, llegando a enmascarar la verdadera calidad dela carta.
- Es sumamente conveniente conocer el origen de los distintos procesos de producción de la carta en estudio, para de esta manera conocer la propagación del error posicional.
- Se pueden corregir de una manera relativamente rápida y sencilla los errores sistemáticos en una cartografía con solo disponer de ésta en formato digital y aplicar las correcciones por traslación desde un programa que lo permita (en este trabajo se utilizó la extensión Tranform themes 1.11 de ArcView 3.3).
- Habría que testear el método para cartas de distintas escalas
- La mayoría de los estándares internacionales de calidad cartográfica suponen que los errores sistemáticos ya han sido detectados y corregidos, pero no proponen métodos para lograr este fin.

**BIBLIOGRAFÍA**


- “Calidad en la Producción Cartográfica” . Francisco J. Ariza Lopez.Editorial Ra-Ma.Madrid.España. 2002
- “El problema de los Errores Sistemáticos Posicionales:Posible herramienta de Corrección”.Alan D.J.Atkinson Gordo-Escuela Politecnica,Universidad de Extremadura.Francisco J. Ariza López-Escuela Politecnica Superior,Universidad de Jaén.José L. García Balboa-Escuela Politecnica Superior,Universidad de Jaén
- “Geospatial Positioning Accuracy Standards”. Federal Geodetic Control Subcommittee.Federal Geographic Data Committee.1998
- “Control de Precisión Posicional de la Cartografía de Base de la Intendencia Municipal de Montevideo-Uruguay”. MSc. Ing. Fabian D. Barbato. Montevideo. Uruguay.
- “Estadística”. Murria R. Spiegel. Editorial McGraw Hill. 1998
- “Sistema de Información del Catastro Territorial (SICAT)”. Dirección y Geodesia de la Provincia de San Juan. 1994

## ANEXO 2

### Modelo preliminar de geoide en área de 150.000ha de la Provincia de San Juan - Argentina y determinación de alturas sobre el Nivel Medio del Mar con GPS

**Autores**:

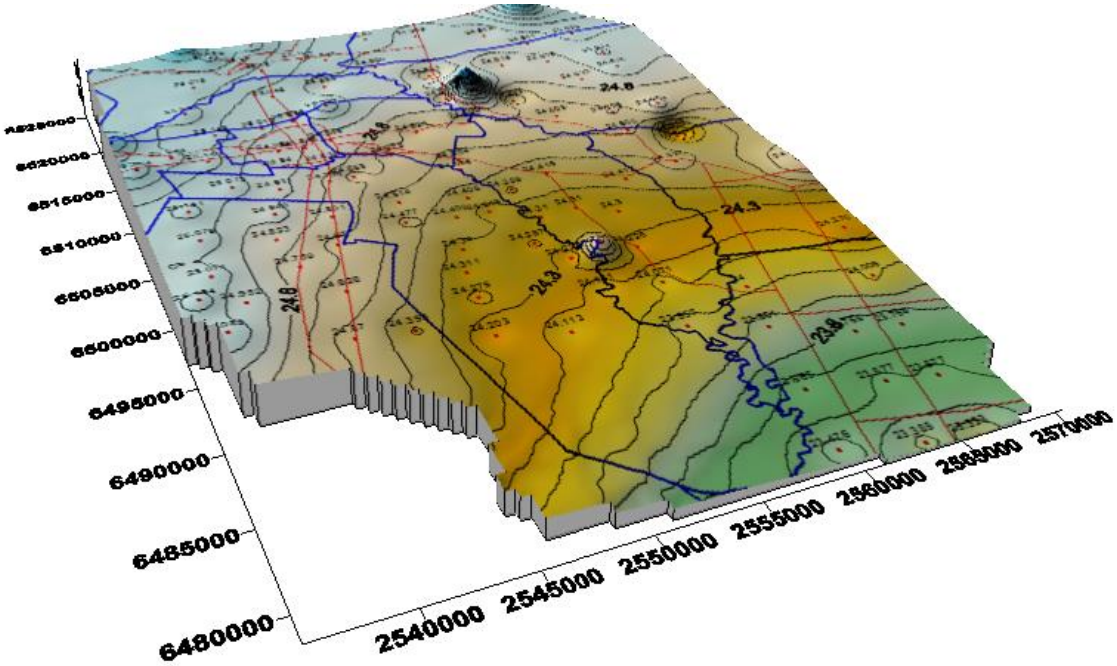
- Mg. Ing. Alfredo Herrada
- Mg. Ing. Jorge Sisterna
- Mg. Ing. Raúl Marquez

**Año:** 1997 – 1998

**Zona:** Valle de Tulum

**Puntos Medidos para generar el modelo:** 110

**Representación del modelo en 3D**:



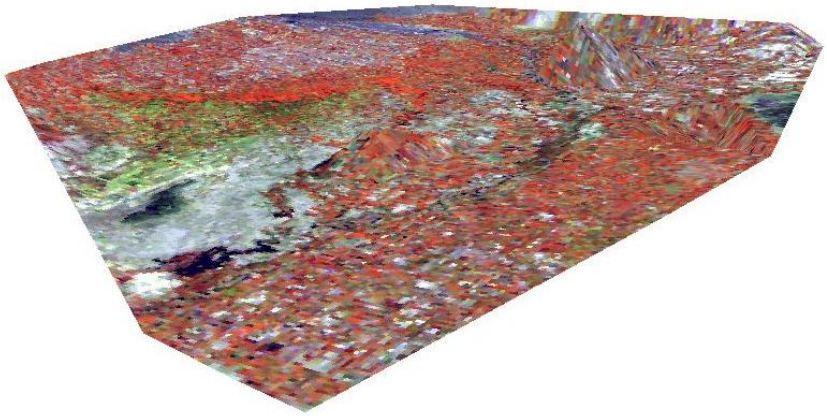
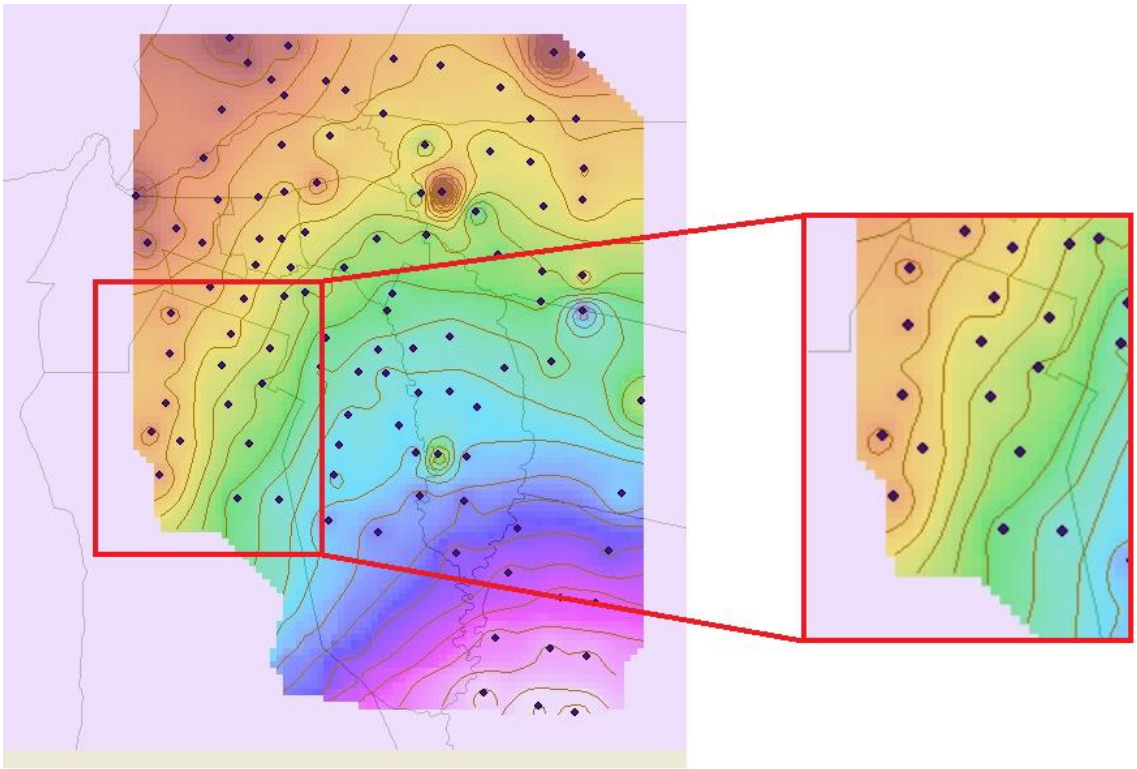



**Imagen de la zona de estudio:**



## ANEXO 3

**Modelo Digital de Elevaciones Aerofotogramétrico de Cuyo (Sector 6.1) - 2017**

El presente modelo digital de elevaciones (MDE) se determinó a partir de una serie de vuelos fotogramétricos realizados por el IGN con un sistema aerofotogramétrico digital compuesto por:
a) una cámara marca Vexcel modelo UltraCam Xp,
b) una unidad de medición inercial (IMU, por su sigla en inglés),
c) una plataforma giroestabilizadora sobre la cual se monta la cámara solidariamente, y
d) un equipo GNSS de doble frecuencia instalado en el fuselaje del avión, entre otros.

El sistema aerofotogramétrico digital permite llevar a cabo los siguientes procesos:
a) la determinación precisa de los parámetros de orientación interna y externa de las imágenes capturadas durante el vuelo (es decir, los parámetros $X$, $Y$, $Z$, $\kappa$, $\varphi$, $\omega$ de cada uno de los centros de las imágenes),
b) la aerotriangulación por haces de rayo, que identifica en forma precisa puntos comunes entre fotogramas a partir de un proceso de correlación automática (aproximadamente cien puntos por imagen), y
c) la determinación de una grilla regular sobre el terreno, cuyo origen vertical es el Sistema Vertical de Referencia Nacional y cuyo marco de referencia geodésico es POSGAR 07. Esta grilla regular (o MDE) incluye la vegetación y los elementos antrópicos existentes al momento de realizar el relevamiento.

Características técnicas del vuelo aerofotogramétrico realizado por el IGN:

| | **Características técnicas del vuelo** |
|---|---|
| **Fecha del vuelo** | Abril 2014 |
| **Sensor** | Vexcel UltraCam Xp |

Características técnicas del MDE determinado por el IGN:

| | **Características técnicas del modelo** |
|---|---|
| **Resolución espacial** | 5 metros |
| **Marco de referencia geodésico** | POSGAR 07 |
| **Marco de referencia vertical** | Sistema de Referencia Vertical Nacional |

| | |
|---|---|
| **Unidades verticales** | Metro |
| **Formato** | IMG (32 bits flotante) |

Valores estadísticos de las diferencias entre las alturas de una serie de puntos de control capturados en el área de interés y las alturas derivadas del MDE:

| | **Precisión vertical del modelo** |
|---|---|
| **Cantidad de puntos utilizados** | 28 |
| **Máximo** | 1.47 m |
| **Mínimo** | -0.93 m |
| **Promedio** | 0.29 m |
| **Desvío estándar** | 0.59 m |

## ANEXO 4

# INTRODUCCIÓN

# GEOIDE-Ar 16

## Modelo de Geoide Argentino

El objetivo principal de la geodesia física es el estudio de la forma de la Tierra, su campo de gravedad y el geoide, que es una superficie equipotencial que se asemeja al nivel medio del mar en reposo. En ese sentido, la determinación del geoide ha sido un tema de investigación dentro de la geodesia y la geofísica durante las últimas décadas. Agencias gubernamentales y científicos de todo el mundo han realizado grandes esfuerzos para desarrollar modelos de geoide de alta precisión. Estos modelos no sólo se utilizan en aplicaciones científicas, sino que también para otros fines, tales como la definición de una superficie de referencia para la cartografía, el monitoreo del nivel del mar, y la explotación y gestión de los recursos naturales.

Los modelos de geoide de alta precisión han experimentado una demanda sin precedentes debido al rápido desarrollo de las tecnologías GPS / GNSS, ya que dichos modelos permiten la transformación de las alturas elipsoidales (determinadas fácilmente a partir de observaciones GPS / GNSS) en alturas físicas (asociadas al campo de gravedad de la Tierra), sin la necesidad llevar cabo costosas nivelaciones geométricas. Estas alturas (físicas) indican la dirección del flujo de los fluidos, debido a que dichos fluidos son atraídos por la fuerza de gravedad de la Tierra en lugar de la influencia de las diferencias de altura geométricas. En ese sentido, las alturas físicas son utilizadas en diversas aplicaciones tales como la generación de cartografía y la construcción de infraestructura civil.

En términos teóricos, un geoide es una superficie del campo de gravedad de la Tierra que se puede aproximar al nivel medio del mar. Se lo define como "una de las superficies equipotenciales del Potencial de Gravedad de la Tierra, de la cual la superficie (media) de los océanos forma parte" (Hofmann-Wellenhof y Moritz 2006, p. 1). Esto significa que la superficie del geoide es perpendicular al vector de gravedad en todos los puntos. El geoide, comúnmente conocida como la figura de la Tierra, no es una superficie regular. Esta irregularidad está altamente correlacionada con la distribución no homogénea de las masas de la Tierra. La falta de uniformidad de la masa es una consecuencia de la topografía (es decir, montañas, valles, llanuras, etc.) y la composición interna de la Tierra (es decir, la variación en la densidad de la corteza interior). Por lo tanto, un geoide también se puede aplicar para inferir el grado de

homogeneidad (o la falta de homogeneidad) de la distribución de masas de la Tierra desde la medición de las fluctuaciones gravitacionales.

En un sentido práctico, un modelo de geoide está dada por una cuadrícula regular sobre la superficie de la Tierra y un valor llamado ondulación del geoide (*N*), que representa la separación entre dos superficies fundamentales geodésicas: el geoide y el elipsoide, se asigna en cada punto de la red (Heiskanen y Moritz 1967): $N = h - H$, donde $h$ es la altura elipsoidal (es decir, la altura con respecto al elipsoide de referencia) y $H$ es la altura ortométrica (es decir, la altura con respecto al nivel medio del mar o al geoide, dependiendo de la definición del datum vertical).

## Características Técnicas GEOIDE-Ar16

El modelo de geoide gravimétrico GEOIDE-Ar 16 (Figura 1) fue desarrollado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) junto con la RMIT University (Australia) utilizando la técnica remove-compute-restore (Schwarz et al. 1990) y el modelo geopotencial GOCO05S (Mayer-Guerr 2015) hasta su grado y orden máximo (es decir 280), junto 671,547 mediciones de gravedad observadas en el sistema gravimétrico IGSN71 (Morelli et al. 1972) sobre el territorio continental argentino, sus países limítrofes, Islas Malvinas y el litoral marino (Figura 2).

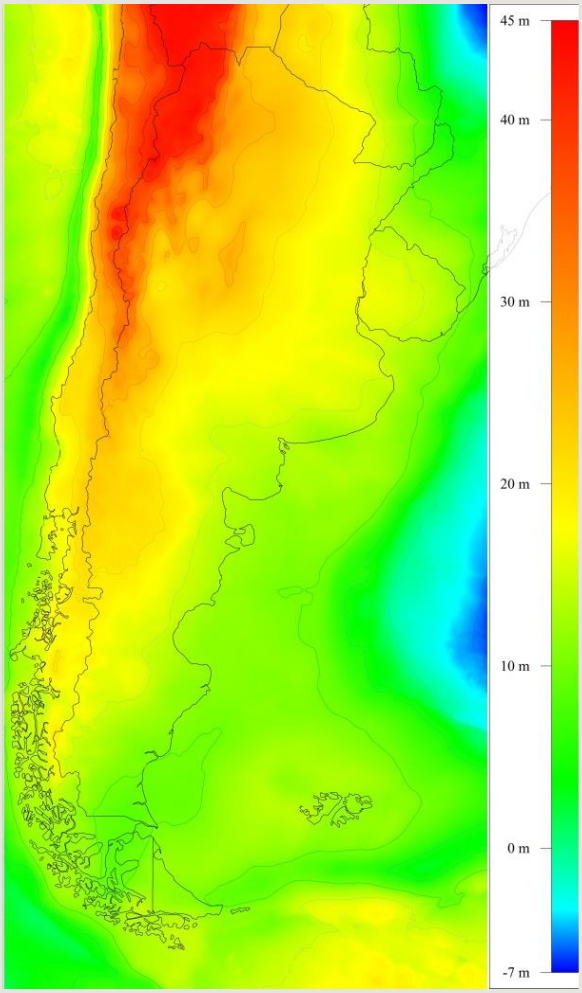



*Figura 1: Modelo de Geoide Gravimétrico Nacional GEOIDE-Ar 16*

*Figura 2: Puntos gravimétricos utilizados para generar GEOIDE-Ar 16*

Las observaciones gravimétricas fueron capturadas por el IGN o gentilmente cedidas por diversos organismos, agencias, empresas y universidades, tales como Yacimientos Petrolíficos Fiscales (YPF); Instituto de Física de Rosario (IFIR); Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP); Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de la Universidad Nacional de San Juan (UNSJ); Instituto de Geociencias Básicas, Aplicadas y Ambientales (IGEBA) de la Universidad de Buenos Aires (UBA); Laboratorio de Geofísica Aplicada y Ambiental (LAGAMA) de la Universidad Nacional de Tucumán (UNT); Departamento de Física de la Universidad Nacional del Sur (UNS); Servicio Geológico Minero Argentino (SEGEMAR); Wintershall Energy S.A.; Servicio Geográfico Militar del Paraguay; Instituto Geográfico Militar de Chile; Technische Universität Berlin (Alemania); National Geospatial-Intelligence Agency (Estados Unidos); British Antarctic Survey (Inglaterra); Bureau Gravimétrique International (Francia); Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE); Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (Japón); Marine Geoscience Data System; y Rolling Deck to Repository.

Para cumplir con la condición de contorno, las masas topográficas fueran removidas utilizando el segundo método de condensación de Helmert (Heiskanen y Moritz 1967). Tanto las correcciones del terreno como el efecto indirecto del terreno fueron determinados utilizando una combinación de los modelos digitales de elevación SRTM_v4.1 (Jarvis et al. 2008) y SRTM30_Plus_v10 (Becker et al. 2009), y una densidad de las masas topográficas igual a 2,67 g cm-3 para el terreno y 1,03 g cm-3 para el océano. En las regiones que carecían de observaciones gravimétricas, se utilizó el modelo de gravedad DTU13 (Andersen et al. 2013) para mejorar la cobertura gravimétrica. Finalmente, todas las anomalías de gravedad residuales se interpolaron utilizando el algoritmo Kriging.
La grilla de gravedad resultante fue utilizada para determinar la integral de Stokes mediante el procedimiento multi-banda esférica FFT (Sideris y Forsberg 1991) con la modificación determinista del kernel de Stokes propuesto por Wong y Gore (1969).

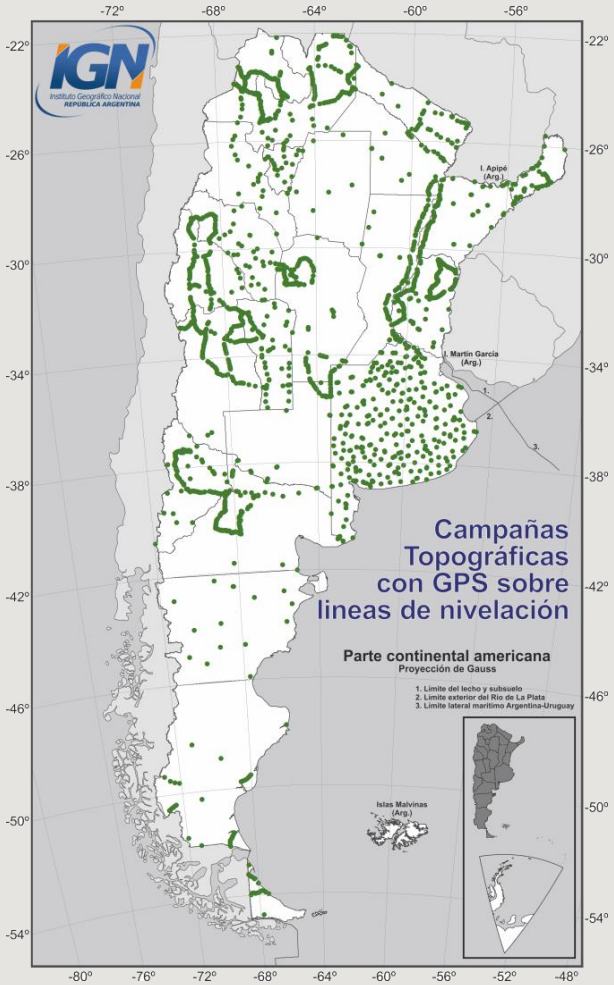



*Figura 3: Puntos GPS-nivelación utilizados para determinar la precisión de GEOIDE-Ar 16*

GEOIDE-Ar 16 se ajustó al Marco de Referencia Geodésico Nacional POSGAR 2007 y al Sistema de Referencia Vertical Nacional 2016 (SRVN16) a partir de la determinación de una superficie correctiva calculada mediante el método clásico de transformación de 4 parámetros (para computar la superficie de tendencia) y una colocación por mínimos cuadrados (para

estimar los residuos).

La precisión de GEOIDE-Ar 16 se evaluó mediante 1.904 puntos de nivelación observados con GPS doble frecuencia (Figura 3). Los desvíos estándar de las diferencias entre la ondulación geoidal derivada de los puntos GPS-nivelación y las ondulaciones del nuevo modelo de geoide son menores a 0,05 m. Asimismo, la exactitud estimada del modelo GEOIDE-Ar 16 es 0,25 m, mientras que su precisión relativa para las líneas base con una longitud menor a los 500 km es de aproximadamente 0,10 m (para el 91% de los casos).

# 22. BIBLIOGRAFÍA


- **Libros y Autores:**

  - Geoensiclopedia
  - Sistemas de información Geográfica
  - Olson - 2003
  - Fundamentos de la calidad de información Gráfica
  - Introducción a la normalización en Información Geográfica familia ISO 19100 - Editores: Francisco Javier Ariza López y Antonio Federico Rodríguez Pascual.
  - Calidad de la IG_ISO 19113
  - Calidad de la IG_ISO 19114
  - Calidad de la IG_ISO 19138
  - Calidad Posicional Método NASSDA
  - Exactitud Posicional Horizontal
  - Calidad de Productos Cartográficos
  - Calidad de la Producción Cartográfica – Autor: Fco. Javier Ariza
  - Autor: Liliana Orellana – 2001
  - Autor: Ana Bianco

- **Apuntes de Cátedras de la carrera Ingeniería en Agrimensura de la UNSJ:**

  - Cartografía Matemática
  - Sistemas de Información Territorial - SIT
  - Geodesia I
  - Geodesia II
  - Redes Topográficas
  - Estadística

- **Páginas Web:**
  - www.um.es/geograf/sigmur/temariohtml/node15.html
  - www.ign.gob.ar
  - www.ign.gob.ar/NuestrasActividades/Geodesia/Geoide-Ar16/calculadora